

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Ю. О. Давідіч  
М. В. Калюжний  
Є. І. Куш**

**ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНУ  
МАРШРУТНОГО МІСЬКОГО  
ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**МОНОГРАФІЯ**

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2015**

УДК 656.025.2

ББК 39.808

Д13

**Автори:**

**Давідіч Юрій Олександрович**, д.т.н., професор кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Калюжний Максим Володимирович**, к.т.н., доцент кафедри автомобільної техніки Національної академії Національної гвардії України;

**Куш Євген Іванович**, к.т.н., доцент кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

**Рецензенти:**

**Самойленко Микола Іванович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

**Лобашов Олексій Володимирович**, доктор технічних наук, професор кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано до друку*

*Вченою радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,  
протокол № 14 від 31.08.2015р.*

**Давідіч Ю. О.**

Д13      Визначення довжини перегону маршрутного міського пасажирського автомобільного транспорту : монографія / Ю. О. Давідіч, М. В. Калюжний, Є. І. Куш ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – 163 с.

ISBN 978-966-695-373-8

Монографія присвячена визначенню довжини перегону маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на перевезення. На підставі аналізу методів організації перевезень пасажирів було визначено фактори, що впливають на зменшення витрат часу на їхнє пересування. Розроблено математичні моделі, які описують вплив довжини перегону маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту на технічну швидкість транспортного засобу на перегоні маршруту і тривалість його простою на зупинкових пунктах. Розроблено рекомендації щодо визначення середньої довжини перегону міського пасажирського автомобільного транспорту, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування.

**УДК 656.025.2**

**ББК 39.808**

© Ю. О. Давідіч, М. В. Калюжний,  
Є. І. Куш, 2015

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015

ISBN 978-966-695-373-8

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	5
1 ВИТРАТИ ЧАСУ ПАСАЖИРІВ НА ПЕРЕСУВАННЯ.....	7
1.1 Визначення факторів, що впливають на витрати часу пасажирів на пересування.....	7
1.2 Методи раціональної організації процесу перевезення пасажирів міським пасажирським транспортом.....	15
1.3 Оптимізація довжини перегону маршруту.....	19
1.4 Закономірності змінювання параметрів руху транспортних засобів за маршрутом.....	25
1.5 Висновки до розділу.....	30
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНУ НА ВИТРАТИ ЧАСУ ПАСАЖИРІВ НА ПЕРЕСУВАННЯ.....	31
2.1 Обґрунтування методу дослідження.....	31
2.2 Аналіз факторів, що впливають на довжину перегонів маршруту міського пасажирського транспорту.....	35
2.3 Методика проведення натурних досліджень.....	38
2.4 Висновки до розділу.....	39
3 ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПЕРЕГОНІ МАРШРУТУ.....	40
3.1 Аналіз залежностей технічної швидкості транспортних засобів на перегоні маршруту.....	40
3.2 Модель змінювання технічної швидкості транспортних засобів.....	54
3.3 Висновки до розділу.....	59
4 ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНЮВАННЯ ЧАСУ ПРОСТОЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ЗУПИНКОВИХ ПУНКТАХ МАРШРУТУ.....	60
4.1 Аналіз залежностей змінювання часу простою транспортних засобів на зупинкових пунктах.....	60
4.2 Модель змінювання часу простою транспортних засобів на зупинкових пунктах маршруту.....	71
4.3 Висновки до розділу.....	75

5 СЕРЕДНЯ ДОВЖИНА ПЕРЕГОНУ МАРШРУТУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ.....	76
5.1 Цільова функція оптимізації довжини перегону.....	76
5.2 Закономірності змінювання середньої довжини перегону.....	80
5.3 Аналіз залежності витрати часу пасажирів на пересування і довжини перегону від параметрів перевізного процесу.....	104
5.4 Модель змінювання довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту.....	113
5.5 Висновки до розділу.....	125
ВИСНОВКИ.....	126
Додаток А. Параметри руху автобусів.....	127
Додаток Б. Параметри моделі змінювання технічної швидкості автобусів.....	128
Додаток В. Параметри простою автобусів.....	130
Додаток Г. Параметри моделі змінювання часу простою автобусів на зупинкових пунктах.....	136
Додаток Д. Довжина перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, та параметри, які її визначають.....	139
Додаток Е. Параметри моделі змінювання середньої довжини перегону.....	144
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	148

## ВСТУП

Транспорт є важливим складником інфраструктури міста. Використання транспортних засобів сприяє забезпеченню життєдіяльності міста як цілісної системи, розвитку його адміністративних, економічних, культурно-просвітницьких та інших функцій. Зростання ролі міста як складної соціально-економічної системи спричиняє підвищення вимог і до міського транспорту, що, зі свого боку, стимулює розвиток усіх видів транспорту, зокрема й пасажирського. Розвиток пасажирського транспорту позитивно впливає на зростання продуктивності праці міського населення.

Транспорт забезпечує зв'язок між виробниками, посередниками та споживачами продукції і впливає на визначання можливостей розвитку виробництва. Він також сприяє підвищенню працездатності робітників, які є головною продуктивною силою суспільства. Унаслідок зменшення часу на пересування збільшується обсяг вільного часу – на навчання, відпочинок, заняття спортом тощо [1].

Параметри функціонування міського пасажирського транспорту визначаються на підставі обрахування витрат часу на переміщення до місць прикладання праці та рівня транспортної втомлюваності під час здійснення такої поїздки, які також впливають на показник продуктивності праці.

Значну частину доби становлять непродуктивні витрати часу працівників на рух у транспорті. Зменшення цих витрат сприяє корисному використанню їх у сфері матеріального виробництва та культурного дозвілля. За чинними будівельними нормами і правилами, наведеними в роботі [2], встановлено, що залежно від категорії міста максимальний час трудових пересувань транспортом для працівників (90 %), не повинен перевищувати 30-45 хв в одному напрямі.

Витрати часу пасажирів на пересування можна зменшити шляхом якісного проектування міських транспортних систем і раціонального руху міського транспорту. Ці завдання реалізуються в загальному комплексі завдань містобудівельного проектування та злагодженої роботи за допомогою транспортних відділів міськвиконкомів і транспортних підприємств.

Із огляду на зазначене вище важливим убачається визначення місця розташування зупинкових пунктів маршрутів міського пасажирського транспорту, що необхідно для їхнього оптимального облаштування і для проектування параметрів технологічного процесу перевезення пасажирів. Щоб вирішити таке завдання, потрібно визначити раціональну довжину перегону маршрутів міського пасажирського транспорту, яка буде забезпечувати мінімальні витрати часу пасажирів на пересування. Вирішення цієї проблеми запропоновано в даній роботі.

# **1 ВИТРАТИ ЧАСУ ПАСАЖИРІВ НА ПЕРЕСУВАННЯ**

## **1.1 Визначення факторів, що впливають на витрати часу пасажирів на пересування**

Теорія міського пасажирського автомобільного транспорту базується на основних поняттях, що характеризують рух людей в міському просторі, пересуваннях та поїздках. Під пересуванням дослідники в галузі перевезень пасажирів, розуміють рух людей від пункту відправлення до пункту призначення [1, 3, 4].

Основними характеристиками пересувань, на думку дослідників, є довжина поїздки, швидкість сполучення і витрати часу на пересування [1, 3, 5, 6]. Найбільш загальною характеристикою пересування є витрати часу на пересування, які визначаються довжиною пересування та швидкістю сполучення.

Труднощі сполучення дослідники розглядають як узагальнену характеристику, що містить низку показників зручності пересування, які визначають транспортну стомлюваність: витрати часу на пересування, статичний і динамічний коефіцієнт використання місткості транспортного засобу, кількість пересадок, частота і регулярність руху, питома вага пішохідних витрат часу й очікування транспорту в загальних витратах часу на пересування тощо [1].

На їхню думку, в добовому бюджеті часу на пересування витрачається певна статистично незмінювана частина. Це явище можна охарактеризувати як самоорганізацію міського населення, воно визначає закони розселення мешканців міста відносно трудового і культурно-побутового центрів, проектування транспортних мереж та вибір видів транспорту для обслуговування пасажирських перевезень [1, 3, 7].

Максимальні витрати часу пасажирів на пересування обмежуються допустимою межею транспортної стомлюваності, яка встановлюється з урахуванням психофізіологічних можливостей організму людини, економічних, соціальних та інших факторів [1, 8, 9].

Під час проектування транспортних систем види міського пасажирського транспорту та необхідні характеристики їх транспортних мереж і маршрутних систем необхідно обирати відповідно до чинних вимог будівельних норм і правил [2].

Складниками витрат часу на пересування, на думку дослідників, здебільшого є час на пішохідний підхід від пункту відправлення до зупинкового пункту міського пасажирського транспорту, час на очікування транспорту на зупинковому пункті, час руху в транспортному засобі і час на пішохідне переміщення від зупинкового пункту міського пасажирського транспорту до пункту призначення. Витрати часу на пішохідний підхід від пункту відправлення до зупинкового пункту міського пасажирського транспорту і від зупинкового пункту транспорту до пункту призначення дослідники пропонують ураховувати як усереднену величину [1, 3].

Отже, труднощі сполучення під час пересування, можна визначити за такою залежністю [1, 3]:

$$t_n = 2t_{niu} + t_{oc} + t_{mp}, \quad (1.1)$$

де  $t_n$  – час пересування пасажирів;

$t_{niu}$  – час пішохідного руху від пункту відправлення до зупинкового пункту або від зупинкового пункту до пункту призначення;

$t_{oc}$  – час на очікування транспорту на зупинковому пункті;

$t_{mp}$  – час руху в транспортному засобі.

За раніше опублікованими даними, що наведені в роботі [1], питома вага складників труднощів сполучення може бути різною.

У середньому, транспортна складова дорівнює приблизно 50 %, витрати часу на пішохідні пересування – 30 % і на очікування транспорту – 20 %. Залежність (1.1) визначає витрати фізичного часу на пересування.

Однак, на думку дослідників, психологічна оцінка пасажирів окремих його складників нерівнозначна. Тому в транспортних розрахунках іноді використовують поняття зведеного транспортного часу [1], що визначається так:

$$t_{прив} = 2t_{niu} \varepsilon_{niu} + t_{oc} \varepsilon_{oc} + t_{mp} \varepsilon_{mp}, \quad (1.2)$$

де  $\varepsilon_{niu}, \varepsilon_{oc}, \varepsilon_{mp}$  – вагові коефіцієнти психологічної оцінки пасажирів витрат часу на пересування.



Під час практичних розрахунків значення складників зведеного транспортного часу зводять до транспортного часу, приймаючи за середньостатистичними даними:  $\varepsilon_{mp} = 1$ ,  $\varepsilon_{niu} = 1,5$  і  $\varepsilon_{оч} = 2$  [1].

На величину кожної складової залежності (1.1), під час визначення труднощів пересування, впливають різні фактори, що спричиняє необхідність більш детального аналізу кожного складника.

Транспортні пересування починаються і закінчуються біля зупинкових пунктів, які є центрами тяжіння транспортних ліній міського пасажирського транспорту.

Зона пішохідної доступності зупинкового пункту оцінюється за прийнятим, максимально допустимим часом підходу до зупинкового пункту або відстанню, яку проходить пішохід за цей час [1].

Час підходу від місця відправлення, в зоні впливу транспортної лінії, до зупинкового пункту визначається особливостями забудови прилеглої території. У здебільшого воно складається з часу підходу до транспортної лінії і часу пересування до найближчого зупинкового пункту вздовж транспортної лінії.

Відстань підходу до транспортної лінії визначається максимальною шириною зони пішохідної доступності, а відстань підходу до зупинкового пункту вздовж транспортної лінії – довжиною перегону [1, 3].

Середня величина зони пішохідної доступності транспортних ліній характеризується щільністю транспортної мережі і визнається за такою залежністю [10]:

$$l_{n.д.сеп} = 1/(3\delta), \quad (1.3)$$

де  $\delta$  – щільність транспортної мережі.

Враховуючи можливу непрямолінійність пересування шляхом прямування і вірогідність вибору пасажирями підходу не до найближчого зупинкового пункту, а до більш віддаленого, який забезпечить менші загальні витрати часу на пересування, дослідники пропонують таку залежність для визначення часу пішохідного підходу [1]:

$$t_{niu} = (k_{nn} k_{в.зн} / V_{niu}) [1/(3\delta) + l_n / 4], \quad (1.4)$$

де  $k_{nn}$  – коефіцієнт непрямої лінійності підходу;

$k_{с.зн}$  – коефіцієнт вибору зупиночного пункту;

$l_n$  – довжина перегону;

$V_{пш}$  – швидкість пересування пішохода.

Величина часу підходу до зупинкових пунктів безпосередньо пов'язана з їх розташуванням на транспортній мережі, нормуванням радіусів пішохідної доступності та транспортного обслуговування території міста.

Усі ці параметри пов'язані з особливостями міської забудови за економічними, архітектурно-планувальними та іншими показниками.

На думку дослідників (за роботою [1]) розташування зупинкових пунктів повинно забезпечувати максимальне транспортне обслуговування території міста за помірно необхідної щільності транспортної мережі.

До того ж критерієм співвідношення між ними має бути максимальна ефективність транспортної системи.

Отже, основними факторами, що визначають витрати часу на пішохідний підхід до зупинкових пунктів, є щільність транспортної мережі й довжина перегону. Для зменшення витрат часу пасажирів на піший підхід необхідно оптимізувати ці параметри.

Час очікування пасажирів транспортних засобів з'являється у зв'язку з наявністю інтервалів часу під час руху пасажирів маршрутами.

Протягом часового інтервалу у русі між суміжними транспортними засобами відбувається підхід пасажирів до зупинок. Кожен пасажир очікує на посадку певний проміжок часу протягом цього інтервалу.

Крім того, за наявності великої кількості пасажирів та внаслідок обмеженої місткості транспортного засобу всі охочі не завжди можуть увійти до нього. Через це певна частина пасажирів залишається на зупинці, очікуючи, наступний транспортний засіб, що призводить до збільшення часу їхнього очікування на величину інтервалу руху.

Аналіз раніше проведених досліджень, які наведені в роботах

[11–21], доводить, що під час вирішення різноманітних завдань оптимізації пасажирських транспортних систем критерієм пошуку оптимального рішення є час очікування пасажирів.

Деякі дослідники, за даними, що наведені в роботах [17, 22, 23], розраховували середній час очікування пасажирів за такою формулою:

$$\bar{T}_{оч} = \frac{I}{2}, \quad (1.5)$$

де  $\bar{T}_{оч}$  – середній час очікування одного пасажирів;

$I$  – інтервал руху.

Однак, як показано в роботах [1, 10, 24, 25, 26, 27], цей спосіб визначення середнього часу очікування дає змогу отримати достовірні результати тільки в тому разі, якщо регулярність руху становить 100 %, тобто маршрутні інтервали між транспортними засобами витримуються з абсолютною точністю. Практично ця умова не може бути виконана. Інтервал між транспортними засобами є стохастичною вірогідною величиною, на значення якої впливає багато факторів [1, 11].

Незважаючи на те, яке значення має відхилення від інтервалу руху, воно впливає на збільшення часу очікування, тому дослідники в роботі [1] пропонують визначати час очікування за такою формулою:

$$t_{оч} = 0,5I\varepsilon_p, \quad (1.6)$$

де  $I$  – маршрутний інтервал;

$\varepsilon_p$  – коефіцієнт, що враховує випадкові відхилення фактичного інтервалу від розрахункового і можливість відмови пасажирів щодо посадки у разі переповнення транспортного засобу.

Інші дослідники, щоб урахувати стохастичність руху транспортних засобів маршрутом міського пасажирського транспорту, пропонують застосувати таку формулу для визначення середнього часу очікування пасажиром транспортного засобу [11]

$$\bar{T}_{оч} = \frac{\bar{I}}{2} \left( 1 + \frac{\sigma^2}{\bar{I}^2} \right), \quad (1.7)$$

де  $\bar{T}_{оч}$  – середній час очікування одного пасажирів;

$\bar{I}$  – середній інтервал руху;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення від середнього інтервалу.

Залежність (1.7), на думку авторів робіт [1, 25, 26, 28], не враховує можливості виникнення відмови щодо посадки в транспортні засоби через перевищення попиту щодо перевезення порівняно з провізними можливостями транспортних засобів. Подальші дослідження, розглянуті в роботах [25, 26, 28 – 30], дозволили на вдосконалення залежності (1.7) шляхом врахування додаткових факторів.

Деякі дослідники, для обрахування додаткового часу очікування, що виникає внаслідок переповнення транспортних засобів, використовують термін «імовірність відмови пасажирів щодо посадки», який передбачає визначення частки пасажирів, що не змогли здійснити посадку у транспортний засіб внаслідок його переповнення, від загальної кількості пасажирів, що підійшли до зупинкового пункту [25, 26]. З урахуванням середньоквадратичних відхилень фактичних інтервалів між транспортними засобами від середнього значення та ймовірності відмови пасажирів щодо посадки, залежність (1.7) була вдосконалена і набула такого вигляду:

$$\bar{T}_{оч} = \frac{I_{пл}}{2} + \frac{\sigma^2}{2I_{пл}} + P_{відм} I_{пл}, \quad (1.8)$$

де  $I_{пл}$  – плановий інтервал руху автобусів на маршруті;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення інтервалу руху автобусів від розкладу руху;

$P_{відм}$  – імовірність відмови пасажирів щодо посадки.

Відповідно до залежності (1.8), як зазначено в роботі [11], при значеннях імовірності відмови, що наближаються до одиниці, значення часу очікування має кінцеву величину. Фактично ж, при  $P_{відм} \rightarrow 1$  значення часу очікування наближається до нескінченності. У зв'язку з цим залежність (1.8) була подана так [11]:

$$\bar{T}_{оч} = \frac{I_{пл}}{2} + \frac{\sigma^2}{2I_{пл}} + \frac{P_{відм}}{1 - P_{відм}} I_{пл}. \quad (1.9)$$

Інші дослідники також намагалися модифікувати залежність (1.7). Так, варіант залежності (1.7) був запропонований авторами в роботі [28], у якій, з використанням елементів теорії масового обслуговування, було

визначено додатковий час очікування, який з'являється внаслідок відмов щодо посадки. Проте, як вказано в роботі [11], у цьому разі не враховується вплив на значення часу очікування випадкових факторів, що виникають при русі транспортних засобів. За даними, наведеними в роботах [30, 31, 32], взаємодія цих факторів істотно впливає на зміну значення часу очікування.

Шляхом використання різних коефіцієнтів: використання рейсів, регулярності руху, диспетчерського регулювання – дослідники вдосконалили залежність (1.9) [29, 30]. Аналогічний підхід для визначення часу очікування описано в роботі [33].

Однак, як зазначають дослідники, у зв'язку з виникненням додаткових процесів середній час очікування одного пасажирів становить 75 – 80 % від маршрутного інтервалу [27].

Дослідники доводять, що зниження часу очікування транспортних засобів є резервом не тільки для зменшення труднощів пересування, але й для збільшення кількості пересувань на міському пасажирському транспорті [34]. За наявності великого значення часу очікування частина пасажирів, загальна довжина поїздки яких на транспорті незначна, віддає перевагу пішому пересуванню.

Витрати часу на поїздку в транспортному засобі визначаються за довжиною поїздки та швидкістю сполучення того виду міського пасажирського транспорту, за допомогою якого вона здійснюється. Ці витрати бути визначені за такою формулою [1]:

$$t_{mn} = l_{mn} / V_c, \quad (1.10)$$

де  $t_{mn}$  – витрати часу на маршрутну поїздку в транспортному засобі;

$l_{mn}$  – довжина маршрутної поїздки;

$V_c$  – швидкість сполучення.

У разі пересування з використанням транспортних засобів різних маршрутів витрати часу збільшуються внаслідок необхідності пересаджування на інший транспортний засіб [1, 35].

Витрати часу, пов'язані з пересадками в мережевих поїздках, складаються з витрат часу на пішохідне пересування між зупинковими пунктами кінця попередньої і початку наступної маршрутної поїздки та часу на очікування транспортного засобу іншого напрямку [1].

Витрати часу на перехід визначаються з урахуванням умов розміщення зупинкових пунктів маршрутів руху в місцях пересадок і умов пересування між ними. Дослідники зазначають, що під час проектування транспортних мереж витрати часу на перехід між зупинковими пунктами пересадок намагаються звести до нуля, застосовуючи метод сполучення зупинкових пунктів різних маршрутів одного або декількох видів міського пасажирського транспорту. Методика визначення витрат часу на очікування транспортних засобів під час пересадок не відрізняється від методики визначення витрат часу на очікування транспорту на початку пересування. На думку дослідників, у разі наявності великих інтервалів руху між транспортними засобами їх доцільно зменшувати шляхом узгодження розкладів руху транспортних засобів міського пасажирського транспорту різних напрямків.

Під час проектування параметрів транспортних пересувань, що складаються з кількох поїздок, дослідники визначили швидкість сполучення, ураховуючи всі її складники. Вони зробили висновок, про те що пересадки, під час яких витрачається час на пішохідні переходи й очікування транспорту, призводять до суттєвого зниження швидкості сполучення під час пересування відносно швидкості сполучення видів міського пасажирського транспорту, які використовуються, що зумовлює збільшення витрат часу на пересування і, відповідно, зростання транспортної втомлюваності [1].

Кількість пересадок на міському пасажирському транспорті залежить від територіальних розмірів і чисельності населення міста, його планувальної структури, розвитку і вдалої побудови транспортної мережі та маршрутної системи, прийнятих систем організації руху міського пасажирського транспорту [1, 36]. Крім того, система організації руху міського пасажирського транспорту впливає і на інші складники загальних витрат часу пасажирів на пересування. У зв'язку з цим, виникає необхідність аналізу заходів щодо раціональної організації технологічного процесу перевезення пасажирів.

## **1.2 Методи раціональної організації процесу перевезення пасажирів міським пасажирським транспортом**

Під технологією перевезень пасажирів дослідники розуміють сукупність методів транспортного обслуговування, організації і здійснення процесу перевезення, форм використання рухомого складу й лінійних споруд [37].

Транспортне обслуговування мешканців міст повинне базуватися на інформації про зміну потреб населення щодо пересувань [1, 36–44]. Із появою нових наукових підходів до організації перевізного процесу дослідники апробували різноманітні методи визначення параметрів пасажиропотоків, які наведені в роботах [3, 36, 45–49]. Для отримання інформації про закономірності зміни параметрів поїздок вони використовували квитковий, табличний, таблично-опитувальний, талонний та візуальний методи [1, 3, 36, 45–49]. Можна досягти автоматизації цього процесу шляхом використання технічних засобів фіксації параметрів пасажиропотоків [3, 48, 49]. Параметри пересувань, особливості розподілу пасажиропотоків за маршрутами окремих видів транспорту і транспортною мережею загалом, вузли пересадок і їхню кількість можна оцінити, використовуючи анкетні методи обстеження, як показано в роботах [1, 37], або аналізуючи звітно-статистичні показники рухомості населення певної групи міст [46].

Сталість пасажиропотоків дає змогу використовувати маршрутну технологію обслуговування населення міст [37]. Сутність маршрутної технології перевезень пасажирів полягає в організації руху транспортних засобів незмінним шляхом прямування як послідовність циклів транспортування, що повторюються.

Під терміном маршрут, дослідники розуміють встановлений і обладнаний шлях прямування транспортних засобів, що здійснюють регулярні перевезення [1, 33, 49]. Витрати часу населення на пересування і ефективність використання транспортних засобів визначаються вибором маршруту прямування [49, 50]. Завдання формування системи маршрутів міського пасажирського транспорту є багатокритерійним і передбачає облік різних технологічних обмежень [37, 51–56]. Дослідники визначили наступні етапи формування раціональної системи маршрутів міського пасажирського транспорту: вибір і обґрунтування траси, напрямів руху, проміжних і кінцевих зупинкових пунктів [36]. Зниження витрат часу

пасажирів на поїздки є головним критерієм, що враховується під час формування маршрутної системи [37].

Елементами маршруту є: початкові та кінцеві пункти, проміжні зупинки, контрольні пункти для перевірки розкладу руху, перегони – ділянки траси маршруту між суміжними кінцевими і проміжними пунктами, технічні пункти [1, 3, 33, 37, 49].

Технологічний процес міських пасажирських перевезень здійснюється з метою повного і своєчасного задоволення потреб населення щодо перевезень із дотриманням законодавчих норм, що діють, з урахуванням вимог безпеки дорожнього руху і якості транспортного обслуговування пасажирів [37, 57]. Він передбачає раціональну організацію руху транспортних засобів маршрутами на підставі виявлення і використання технічних, експлуатаційних, економічних, організаційних і інших закономірностей процесу перевезення [33, 37].

Під час організації перевізного процесу завдання його виконання дослідники групують за функціональними блоками: технологічна організація перевезення; організація праці, облік і аналіз роботи, стимулювання водіїв; організація паркових і лінійних диспетчерських; робота водіїв і автобусів на лінії [37]. На думку дослідників, структура і зміст цих завдань визначаються інформаційною та логічною послідовністю ухвалення управлінських рішень, наявністю функціональної самостійності кожного завдання та наявністю критерію оптимального його розв'язання.

Ефективність організації перевезень пасажирів забезпечується вибором раціональної кількості і типу рухомого складу [1, 36, 45, 46, 58–70]. Потребу щодо рухомого складу дослідники пропонують встановлювати виходячи з необхідності призначення на кожен маршрут такої кількості автобусів певної пасажиромісткості, яка забезпечує мінімальні витрати перевізника за умов освоєння пасажиропотоку, з дотриманням нормативних вимог до якості транспортного обслуговування [37, 71]. Розподіл автобусів за маршрутами, на думку дослідників, необхідно здійснювати з урахуванням виконання тих самих умов додатково, як показано в роботах [28, 37, 72–75], враховуючи наявність у розпорядженні перевізника рухомого складу. На думку дослідників, вказані завдання мають спільну інформаційно-методичну основу. Критерієм визначення кількості автобусів для внутрішньопаркового резерву є мінімум фінансових витрат перевізника.



Потрібна кількість транспортних засобів для роботи на маршрутах визначається на підставі часу виконання рейсів на маршруті. Дослідники пропонують визначати ці норми, беручи до уваги руху на перегонах, пасажирообмін на зупинкових пунктах і міжрейсові відстої на кінцевих пунктах маршруту [37, 77]. Норми часу на виконання рейсів є початковою інформацією під час розподілу автобусів за маршрутами, складання розкладу руху й організації швидкісного та експресного сполучення [3, 37]. На витрати часу автобусів на рейс впливають такі чинники: частота розташування зупинкових пунктів; тягово-динамічні якості транспортних засобів і їхні конструктивні особливості; інтенсивність пасажиропотоку на маршруті; кількість пасажирів, що припадає на одні двері транспортного засобу; інтенсивність транспортного потоку на трасі маршруту; дорожні та кліматичні умови руху; обмеження швидкості руху, пов'язане з регулюванням дорожнього руху; досвід і психофізіологічний стан водіїв транспортних засобів [37].

Час рейсу визначається за нормами швидкостей руху на маршрутах [33, 37]. Норми встановлюються для безпечної і ефективної експлуатації транспортних засобів, раціоналізації використання праці водіїв і скорочення витрат часу пасажирів на пересування. Дослідники виокремлюють декілька різновидів швидкостей руху маршрутами: технічна швидкість сполучення та експлуатаційна [1, 37]. Правила й умови дорожнього руху обмежують швидкість руху, і використовують терміни «допустима швидкість» руху окремими ділянками маршруту і «миттєва швидкість», з якою автомобіль пересувається за кожен момент часу [1, 37].

Для нормування швидкостей руху транспортних засобів маршрутами і визначення часу рейсу дослідники пропонують використовувати два методи: хронометражний і розрахунковий [37]. Хронометражний метод базується на фіксації фактичних витрат часу на рейс і на виконання окремих його елементів. Норма часу на рейс визначається як середня між мінімальним і максимальним фактичним часом на рейс за даними хронометражу.

Розрахунковий метод нормування швидкостей руху на маршрутах і визначення часу на рейс базується на розбиванні маршруту на окремі ділянки, в яких забезпечується приблизна рівномірність умов руху автобусів з подальшим розрахунком часу, необхідного на пробіг кожною з цих ділянок [37].

Наступним етапом технологічного процесу, на думку дослідників, є урахування розподілу потреб пасажирів щодо поїздки у часі шляхом організації необхідної кількості рейсів маршрутами [37, 78]. На муніципальних міських маршрутах здебільшого застосовується така технологічна форма використання рухомого складу, як організація руху за розкладом [1, 33, 37]. Перевезення автобусами невеликої пасажироємності в режимі руху «маршрутне таксі» можуть здійснюватися без розкладу руху.

Документом, що визначає організацію й ефективність роботи транспортних засобів на маршруті, є маршрутний розклад руху [1, 3, 37, 79–85]. Похідними з маршрутними розкладами є водійський розклад, у якому вказується час певного виїзду, і диспетчерський розклад, який містить інформацію про рух через відповідний пункт транспортних засобів різних маршрутів. Розклад руху регулярно коректується, щоб урахувати зміни щодо кількості автобусів на маршруті, конфігурації траси маршруту, норм часу на виконання рейсів, системи організації праці водіїв, а також у разі зміни варіанту організації комбінованого руху автобусів і введення спеціальних рейсів [1, 3, 37]. Критерієм якості розкладу є рівномірність інтервалів руху автобусів.

Розклад руху безпосередньо пов'язаний із різними формами організації руху транспортних засобів. Традиційна форма обслуговування пасажирів передбачає здійснення пасажирообміну на всіх зупинках. Можливе також використання комбінованих режимів руху, що передбачають, разом із звичайним сполученням, введення швидкісних, експресних, напівекспресних і скорочених рейсів [3, 37, 86]. Комбіновані режими руху підвищують ефективність використання транспортних засобів і праці водіїв, знижують витрати часу пасажирів на поїздки.

Ефективність виконання затвердженого розкладу і плану перевезення пасажирів неможлива без диспетчерського управління роботою транспортних засобів на маршрутах [1, 3, 36, 45–47, 49, 77, 87–91]. Диспетчерське управління повинне забезпечувати ефективність розробленого розкладу руху і планового завдання на перевезення. Диспетчерське управління передбачає використання лінійних диспетчерів [1, 3], а також застосування автоматизованих систем диспетчерського управління [92, 93].

Отже, на витрати часу пасажирів на пересування можна впливати за допомогою впровадження різних організаційних заходів технологічного процесу перевезення пасажирів. Дослідники в роботі [1] визначають параметр, що суттєво впливає на всі характеристики систем маршрутного міського пасажирського транспорту, зокрема і на витрати часу пасажирів на пересування. Цим параметром, на їх думку, є довжина перегону. Із огляду на це встановлені нормативи й методи, визначення довжини перегонів маршрутів міського пасажирського транспорту необхідно аналізувати.

### 1.3 Оптимізація довжини перегону маршруту

Під час розв'язання задачі з оптимізації довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту використовують різні підходи.

Деякі дослідники визначають цю величину, беручи до уваги тільки піші пересування пасажирів.

Так, оптимальну довжину перегонів між зупинковими пунктами, за даними роботи [93], визначали за таким співвідношенням:

$$l_{n.opt} = (1,6 \div 1,7) R_{n.d. макс}, \quad (1.11)$$

де  $l_{n.opt}$  – оптимальна довжина перегону маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту;

$R_{n.d. макс}$  – максимальна пішохідна доступність або радіус інерції.

До того ж за міжмагістральною територією існують ділянки, які не потрапляють у межі встановленого радіусу доступності зупинкових пунктів, але вони не перевищують 5 – 10 % селітебної території, яка обслуговується. У разі максимального радіусу пішохідної доступності, який дорівнює 400 м, за залежністю (1.11) дослідники визначили значення оптимальної довжини перегону, що перебуває в інтервалі 640–680 м.

Інші дослідники наводять дані які підтверджують, що оптимальна довжина перегонів на міських маршрутах повинна визначатися в інтервалі 300–500 м [49]. У необхідних випадках відстань між зупинковими пунктами може бути 800–1000 м [87]. У роботі [87] автори зазначають, що місце розташування зупинкових пунктів обирають з урахуванням

гарантування безпеки руху транспортних засобів і пасажирів, умов посадки і висадки.

На думку деяких дослідників [87], невеликі відстані між зупинковими пунктами забезпечують найменші витрати часу на підхід до одного з таких пунктів. При цьому, однак, швидкість сполучення знижується і збільшується тривалість поїздки. Час підходу пасажирів до зупинок не повинен перевищувати 10 – 15 хвилин [87].

Більш детальне визначення оптимальної довжини перегону подане в роботі [1]. У ній зазначено, що довжина перегону суттєво впливає на всі характеристики транспортної системи перевезення пасажирів маршрутного міського пасажирського транспорту. На думку дослідників, зі зменшенням довжини перегону зменшуються і витрати часу пасажирів на піший підхід до зупинкових пунктів міського пасажирського транспорту, але при цьому збільшується транспортний час поїздки внаслідок зменшення швидкості сполучення. Із огляду на це пропонується використовувати мінімум загальних витрат часу населення на пересування як цільову функцію оптимізації довжини перегону [1, 3].

Під час розв'язання задачі з оптимізації довжини перегону для визначення загальних труднощів пересування використовують залежність (1.1) [1]. Для визначення витрат часу на пішохідний підхід до зупинкового пункту – залежність (1.4), а для визначення часу очікування – залежність (1.6). Час транспортного пересування на маршруті дослідники визначають за довжиною перегону, подаючи її як суму двох складників: витрат часу на рух маршрутом із середньою швидкістю та середнього часу простою на зупинковому пункті:

$$t_{mp} = \frac{l_{cep}}{V_T} + \left( \frac{l_{cep}}{l_n} - 1 \right) t_{zn}, \quad (1.12)$$

де  $l_{cep}$  – середня дальність поїздки;

$V_T$  – середня технічна швидкість;

$t_{zn}$  – тривалість простою транспортного засобу на зупиночному пункті для пасажирообміну.

Перший доданок у цій формулі – витрати часу на рух маршрутом із середньою технічною швидкістю на відстань, що дорівнює середній довжині поїздки. Другий доданок – час стояння на зупинкових пунктах, і дорівнює середній довжині поїздки [1].

Отже, видозмінюючи залежність (1.1) і беручи до уваги залежності (1.2), (1.4), (1.6) та (1.12), отримали таку залежність:

$$t_n = 2t_{ни} \varepsilon_{ни} + t_{оч} \varepsilon_{оч} + t_{пр} \varepsilon_{пр} = (1/(3\delta) + l_n/4) 2k_{нт} k_{в.оп} \varepsilon_{неи} / V_{неи} + \\ + 0,5 I \varepsilon_p \varepsilon_{оч} + l_{сер} \varepsilon_{пр} / V_T + (l_{сер} / l_n - 1) t_{зн} \varepsilon_{пр}. \quad (1.13)$$

За залежністю (1.12) зрозуміло, що довжина перегону впливає на час підходу пасажирів до зупинкового пункту і витрати часу на проміжні зупинки під час транспортного пересування. Довжина перегону опосередковано також на технічну швидкість, середній час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, середню довжину поїздки і залежить від щільності транспортної мережі.

Ступінь залежності технічної швидкості від довжини перегону може визначатися такими чинниками. Зі збільшенням довжини перегону зростає і технічна швидкість. Вона наближається до граничного значення, яке дорівнює постійній швидкості руху транспортного засобу на перегоні. Залежність часу простою від довжини перегону виявляється в тому, що зі збільшенням довжини перегону збільшується й пасажирообмін зупинкового пункту. Тобто, якщо довжина перегону збільшується, то частина пасажирів, що пересуваються на коротку відстань, оберуть транспортне пересування, а не піше. Середня довжина поїздки залежить від довжини перегону зі збільшенням довжини перегону зростає й середня довжина поїздки. Залежність інтервалу руху від довжини перегону виявляється в тому, що зі збільшенням довжини перегону збільшується швидкість сполучення та оборотність транспортних засобів, а якщо їхня кількість на маршруті постійна, то зменшується інтервал руху [1].

Із огляду на це дослідники роблять висновок, що, якщо зі змінюється довжина перегону, то змінюється і різновид пасажироперевезень, і об'єм транспортної роботи маршруту. Отже, під час визначення, витрат часу на пересування необхідно брати до уваги багато факторів. [1].

З метою оптимізації довжини перегону автори роботи [1] досліджували, як залежать витрати часу на пересування від довжини перегону, якщо

$$V_T = \text{Const};$$

$$t_{zn} = \text{Const};$$

$$I = \text{Const},$$

Витрати часу вони пропонують визначати за такою формулою

$$t_n = a + bl_n + c/l_n, \quad (1.14)$$

$$\text{де } a = 2k_{nn}k_{6.3n}\varepsilon_{niu}/3\delta V_{niu} + 0,5I\varepsilon_p\varepsilon_{oc} + l_{cep}\varepsilon_{mp}/V_T - t_{zn}\varepsilon_{mp};$$

$$b = k_{nn}k_{6.on}\varepsilon_{niu}/2V_{niu};$$

$$c = l_{cep}t_{zn}\varepsilon_{mp}.$$

Залежність (1.13) графічно подана на рисунку 1.1. Точка мінімуму кривої визначає величину оптимальної довжини перегону.

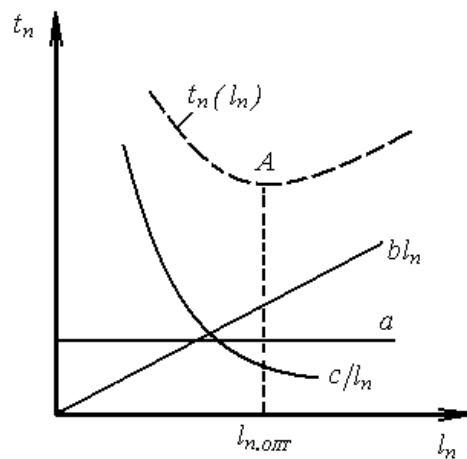


Рисунок 1.1 – Залежність сумарних витрат часу на пересування від середньої довжини перегону на маршрутах міського пасажирського автомобільного транспорту

Якщо вважати, що перша похідна залежності (1.14) за довжиною перегону дорівнює нулю то формула для визначення довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту, що забезпечує мінімальні

витрати часу пасажирів на пересування [1], буде такою:

$$l_{n.onm} = \sqrt{c/b} = \sqrt{2V_{niu} t_{zn} l_{cep} \epsilon_{mp} / (\epsilon_{niu} K_{nn} K_{в.он})}. \quad (1.15)$$

Аналізуючи цю залежність, дослідники дійшли висновку, що величина оптимальної довжини перегону залежить від швидкості руху пішоходів, часу простою на зупинкових пунктах маршруту, середньої довжини поїздки одного пасажирів, а також від значень коефіцієнтів  $\epsilon_{niu}$ ,  $\epsilon_{mp}$ ,  $K_{nn}$ ,  $K_{в.он}$ .

Вдосконалюючи цей підхід, інші автори, результати досліджень яких наведені в роботі [3], загальні витрати часу пасажирів на пересування визначають за такою залежністю:

$$t_n = 2 \frac{60}{V_{niu}} \left( \frac{L_T}{4} + \frac{l_n}{4} \right) + \frac{I}{2} + \frac{60l_{cep}}{V_T} + \left( \frac{l_{cep}}{l_n} - 1 \right) t_{zn}. \quad (1.16)$$

Дослідники зазначають, що в поданій формулі враховано такі складники: середні витрати часу на пішохідний підхід до і після виходу з транспортного засобу; тривалість очікування транспорту на зупинковому пункті; тривалість руху пішохода в транспортному засобі; витрати часу на зупинкових пунктах.

За такою формулою можна визначити середні витрати часу на пішохідний підхід до і після виходу з транспортного засобу; тривалість очікування транспорту на зупинковому пункті; тривалість руху пішохода в транспортному засобі; витрати часу на зупинкових пунктах.

Якщо прийняти, що в залежності (1.16) швидкість руху пішоходів  $V_{niu} = 4$  км/год, то отримаємо таку формулу [3]:

$$t_n = 7,5(L_T + l_n) + \frac{I}{2} + \frac{60l_{cep}}{V_T} + \left( \frac{l_{cep}}{l_n} - 1 \right) t_{zn}. \quad (1.17)$$

Проаналізувавши залежність (1.17), дослідники дійшли висновку, яка у всіх випадках оптимальна довжина перегону, що визначає мінімальні витрати часу на пересування, перебуває в межах 0,4 – 0,5 км.

Диференціюючи рівняння (1.17) за довжиною перегону, була отримана залежність для визначення довжини перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування [3]:

$$l_{n.opt} = 0,36 \sqrt{t_{zn} l_{sep}}. \quad (1.18)$$

Отже, оптимальне значення довжини перегону прямопропорційне значенню величини  $\sqrt{t_{zn} l_{sep}}$ . Що більша довжина перегону на маршруті, то вища швидкість сполучення, й більші витрати часу пасажирів на підхід до зупинкових пунктів. Внаслідок цього, на думку дослідників, оптимальність відстаней між зупинковими пунктами потрібно визначати, беручи до уваги пасажирообмін, реальні можливості та особливості планування вулично-дорожньої мережі міста й системи організації перевезень [3]. На підставі проведеного дослідження було обраховано відстані між зупинковими пунктами які є орієнтовними показниками для розрахунків (табл. 1.1) [3].

Таблиця 1.1 – Рекомендована довжина відстаней між зупинковими пунктами

Середня дальність поїздки, км	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Середня відстань між проміжними зупинковими пунктами, км	0,25– 0,37	0,30– 0,45	0,35– 0,52	0,4– 0,6	0,45– 0,67	0,50– 0,57

Отже, можна зробити висновок про те, що наявні підходи щодо визначення довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту є недосконалими у зв'язку з тим, що такі величини, як технічна швидкість транспортного засобу, час простою на зупинках і інтервал руху вважаються постійними.

Фактично ж ці параметри є складними функціями, що залежать від низки факторів. Із огляду на це у задачі потрібно надати зазначені параметри як функції різних змінних. У зв'язку з цим необхідно проаналізувати закономірності зміни технічної швидкості транспортного засобу, часу простою на зупинках та за визначений інтервал руху. Усі ці фактори є важливими параметрами руху транспортних засобів маршрутами міського пасажирського транспорту.



#### **1.4 Закономірності змінювання параметрів руху транспортних засобів за маршрутом**

Закономірності змінювання параметрів руху, транспортних засобів маршрутом міського пасажирського транспорту вивчали багато дослідників [11, 30, 92, 94–120].

Рух транспортних засобів перегонами і час їхнього простоювання на зупиночному пункті вони визначили як елементи руху транспортних засобів за маршрутом міського пасажирського транспорту. перегонами маршруту і його час простою на зупиночному пункті.

Під час дослідження руху транспортних засобів на перегонах маршруту як один із способів використовувалося моделювання моментів прибуття транспортних засобів, яке виражалося в годинах. Можна було також, на підставі даних про довжину перегонів, змодельовати їхню технічну швидкість на перегонах і визначити час прибуття. Деякі автори, результати досліджень яких наведені в роботі [120], робили припущення про рівномірний рух транспортних засобів маршрутом відповідно до графіка руху. Інші автори [99, 100, 116] для визначення моментів прибуття транспортних засобів на зупинкові пункти використовували дані про довжину перегонів і середню технічну швидкість на маршруті. Дехто з дослідників визначав моменти прибуття, використовуючи показниковий закон розподілу [103] або нормальний закон [106]. Закон широко застосовується в транспортних дослідженнях, зокрема під час описування відхилень від розкладу руху [92, 110, 114, 121], швидкості руху [33] і часу руху транспортних засобів між зупинками [122]. Для визначення часу руху також використовувалися гама нормальний [3, 98, 123] і логнормальний розподіли [124]. Інші автори, результати досліджень яких наведені в роботах [115, 125, 126], пропонують моменти часу прибуття вважати вихідним масивом.

Під час визначення швидкості руху транспортних засобів за маршрутом у роботах [109, 127] оцінюють його, беручи до уваги умови руху, а в роботі [109] додатково використовують нормальний закон розподілу. Диференціацію варіантів руху транспортних засобів наведено в роботі [99]. Під час використання автоматизованих систем диспетчерського управління застосовується рівномірний закон розподілу, а за їх відсутності розподіл – Пуассона. Процес руху в моделі перегону, що розглядається в роботі [117], розподіляється так: період руху автобусів без перешкод і період руху з перешкодами, враховувати які пропонується за

нормальним законом розподілу. У роботі [31] час руху в режимі потоку визначався за допомогою гамма-розподілу, моменти виникнення транспортних заторів за біноміальним, а їх тривалість за експоненціальним законом. У роботі [116] перешкоди руху моделювалися за допомогою розподілу Пуассона.

У роботі [119] під час визначення швидкості руху дослідники враховували вплив довжини перегону, наявності поворотів, підйомів і спусків. У роботі [37] уточнюється, що тільки подовжні підйоми і ухили, величина яких становить більше ніж 2 %, впливають на швидкість руху автобуса.

Ступінь заповнення салону транспортного засобу також впливає на швидкість руху [119]. На думку дослідників у роботі [37], зміна пасажиропотоку на 10 % від середнього значення спричиняє невеликий вплив на час рейсу. Перевезення пасажирів більш ніж 3 пас/м<sup>2</sup> вільної площі підлоги салону спричиняє зниження швидкості сполучення приблизно на 0,3...0,4 км/год на кожних 10 – 20 пасажирів.

У роботі [16] автори вказують на те, що, крім вищезгаданих факторів, на час руху впливає неоднорідність потоку транспортних засобів і їх динамічні характеристики. Крім того, дослідники доходять висновку, що величина часу руху і довжина перегону визначають середньоквадратичне відхилення від середнього часу руху [16, 114].

Технічна швидкість транспортних засобів, на думку дослідників, залежить від довжини перегону [128–131], інтенсивності транспортного потоку, динамічних властивостей [128, 129, 131], умов дорожнього [129, 131]. У роботі [37] дослідники наводять дані про те, що потік транспортних засобів обмежує технічну швидкість міського пасажирського транспорту за умови інтенсивності понад 390 зведених одиниць на одну смугу руху. У разі меншої інтенсивності транспортного потоку його впливом на швидкість руху автобуса можна знехтувати.

Під час дослідження закономірностей зміни тривалості простоїв транспортних засобів на зупинкових пунктах враховувалися різні фактори. Так, деякі дослідники припускали, що під час розрахунків, можна знехтувати тривалістю простою на зупинкових пунктах, зробивши припущення, що висадка і посадка має миттєвий характер [96, 99, 132, 133]. Однак очевидно, що це не відповідає дійсності. Крім того, попередніми дослідженнями, наведеними в роботі [134], підтверджується, що час простою становить до 15 % від тривалості рейсу. Інші дослідники для визначення часу простою транспортних засобів на

зупинці використовували методи регресійного і кореляційного аналізу, а кількість вхідних пасажирів вважали незалежною змінною [98]. Можна також використовувати розподіл Ерланга для опису розподілу тривалості простою транспортних засобів на зупинках [33], визначати його як функцію від пасажирообміну зупинкового пункту [31, 33, 129], з урахуванням часу входу і виходу одного пасажирів [32, 110, 115], з використанням показникового закону розподілу від цього ж параметра [95, 105], а також нормального закону розподілу [16, 127].

Інші дослідники виявили, що на тривалість простою міського пасажирського транспорту впливають параметри прибуття транспортних засобів [135]. Також на час простою впливає кількість дверей транспортних засобів [101, 136, 137] або тип рухомого складу [33, 129], хоча дехто відзначає, що посадка або висадка одного пасажирів продовжується від двох до п'яти секунд [123, 136, 137]. Тривалість простою транспортних засобів можна визначати залежно від інтенсивності накопичення пасажирів на зупинкових пунктах і параметрів організації руху [106], або як функцію від наявних параметрів потоків пасажирів [105, 125]. У роботах [136, 137] наводяться дані про те, що час посадки залежить від форми організації оплати проїзду, наявності та кількості багажу у пасажирів. У роботах [129, 138, 139] зазначено, що час простою залежить від наповнення транспортних засобів. У роботі [129] – від часу відкриття (закриття) дверей. У роботі [140] автори виявили і описали залежність часу простою на зупинках маршрутів міського пасажирського транспорту від номінальної місткості транспортних засобів, довжини перегону, коефіцієнта використання пасажиромісткості, середнього питомого часу на посадку і висадку пасажирів і середньої відстані його поїздки. За даними роботи [141], на величину середньої тривалості посадки пасажирів впливає висота рівня підлоги транспортних засобів і площа накопичувальних майданчиків. Також дослідники дійшли висновку про лінійну залежність між тривалістю виходу і кількістю пасажирів, що зійшли, при оберненопропорційному впливі кількості дверей [142]. Зміна тривалості входу пасажирів як функції від їх кількості має нелінійний характер. Дослідники пояснюють це зміною ступеню наповнення транспортних засобів [142]. Отже, можна зробити висновок про те, що розроблені раніше моделі руху транспортних засобів маршрутами використовували різний підхід до визначення часу їх простою на зупинкових пунктах. Проте жодна з цих моделей не розглядала час простою на всіх зупинкових пунктах

маршруту, тому, необхідно й надалі досліджувати час простою. Для виконання завдань дослідження були сформульовані основні етапи, які графічно подані у вигляді структурної схеми на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Структурна схема досліджень з визначення довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування



Рисунок 1.2, продовження

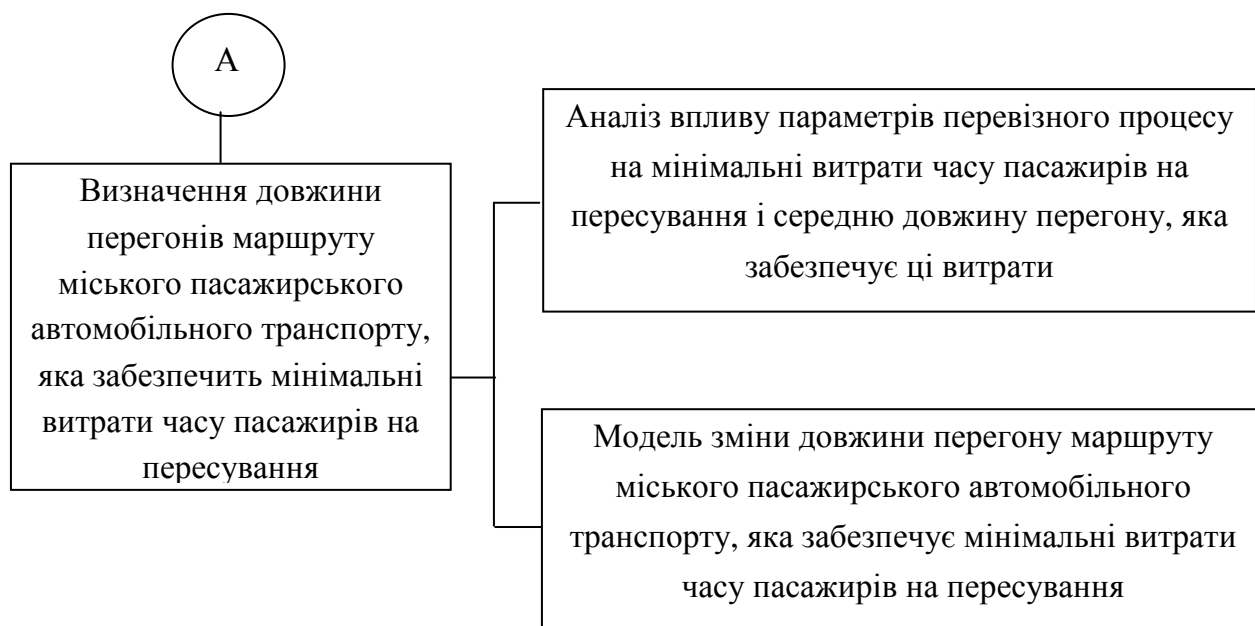


Рисунок 1.2, закінчення

### 1.5 Висновки до розділу

Аналіз методів організації технологічного процесу перевезення пасажирів засвідчив, що витрати часу пасажирів на пересування можна зменшити шляхом оптимізації довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту.

Наявні методи оптимізації довжини перегонів недостатньо враховують вплив оптимізації на технічну швидкість, час простою транспортного засобу на зупинковому пункті та величину інтервалу між рухом транспортних засобів.

Для оптимізації довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту необхідно вирішити такі завдання:

- розробити моделі, що описують вплив довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту на технічну швидкість транспортного засобу на перегоні маршруту і тривалість його простою на зупиночних пунктах;
- визначити закономірності змінювання середньої довжини перегону, що забезпечує найменші витрати часу пасажирів під час пересування, залежно від параметрів перевізного процесу;
- розробити рекомендації щодо визначення середньої довжини перегону міського пасажирського автомобільного транспорту, яка забезпечить мінімальні витрати часу пасажирів на пересування.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНУ НА ВИТРАТИ ЧАСУ ПАСАЖИРІВ НА ПЕРЕСУВАННЯ

### 2.1 Обґрунтування методу дослідження

Цільову функцію визначення довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту можна надати так:

$$t_n = 2t_{ниу} + t_{оч} + t_{мп} \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де  $t_n$  – час пересування пасажирів;

$t_{ниу} = f(l_n, \dots)$  – час пішохідного руху від пункту відправлення до зупинкового пункту або від зупинкового пункту до пункту призначення;  $t_{оч} = f(l_n, \dots)$  – час на очікування транспорту на зупинковому пункті;

$t_{мп} = f(l_n, \dots)$  – час руху в транспортному засобі.

Досягнути визначеної мети можна, якщо дослідити вплив довжини перегонів на складники загальних витрат часу пасажирів на пересування. У зв'язку з цим необхідно обрати метод, який буде використовуватися в дослідженні надалі.

Управління будь-яким процесом передбачає необхідність прогнозування результатів його функціонування після закінчення. Оптимальне вирішення будь-якого завдання планування транспортних процесів можливе тільки за умови врахування всіх взаємопов'язаних факторів, які визначають характеристики транспортної системи [143]. Вирішити завдання щодо транспортних систем аналітично, зважаючи на значні математичні труднощі, практично неможливо, а проведення натурних випробувань вимагає великих затрат часу, коштів, тощо. У зв'язку з цим в дослідженнях застосовують методи моделювання складних систем, що вивчаються, явищ або об'єктів. Завдання, що виникають під час аналізу та синтезу структурних складних систем, вимагають розроблення математичних методів формалізації елементів і їхньої взаємодії в системі [144]. Подібні способи формалізації елементів та їхньої взаємодії узагальнюються в єдиному понятті моделі, а побудову, вивчення та

використання моделей об'єктів як спеціальних засобів пізнання називають моделюванням [145].

Під моделюванням дослідники розуміють засіб вивчення системи шляхом її заміни на більш зручну для експериментального дослідження, вона зберігає суттєві риси оригіналу та дає змогу проводити випробування методом проб. Модель будь-якого об'єкта – це інший об'єкт, що має схожість з оригіналом за по будовою або функціонуванням [146].

Моделі, на думку дослідників, необхідні для того, щоб розуміти особливості побудови конкретного об'єкта, його структуру, основні властивості, шляхи розвитку та взаємодії з навколишнім середовищем. Вони необхідні, щоб навчитися керувати об'єктом дослідження (стан, процес, механізм) і визначати найкращі способи управління згідно з заданими цілями і критеріями. Моделі необхідні також для прогнозування прямих і побічних (непрямих) наслідків реалізації заданих способів і форм впливу на об'єкт дослідження [147].

Існує кілька видів моделювання, які умовно можна об'єднати у дві великі групи: матеріальне (предметне) та ідеальне моделювання [145].

Основними різновидами матеріального моделювання, на думку дослідників, є фізичне і аналогове моделювання. Під час фізичного моделювання властивості реального об'єкта вивчаються на зменшених або збільшених його копіях, а потім, за допомогою теорії подібності переносяться на аналогічні процеси та явища різні за фізичною природою, але однакові за аналітичним зображенням. Аналогове моделювання засноване на подібності процесів і явищ, які відрізняються за фізичною природою, але однаково описуються формально (диференціальні рівняння та логічні схеми одні і ті ж) [145, 147].

Від предметного моделювання принципово відрізняється ідеальне моделювання, яке використовує ідеальні або уявні аналогії між об'єктом і моделлю. Ідеальне моделювання має теоретичний характер та два різновиди: інтуїтивне та знакове. Одним з різновидів ідеального моделювання є також математичне моделювання, коли об'єкт досліджується за допомогою моделі, створеної за математичними принципами, з використанням тих або інших математичних методів [147]. Дослідники відзначають, що сучасний погляд на проблему транспортного обслуговування передбачає комплексне вирішення завдання оптимального використання ресурсів на базі широкого використання математичних



методів [143]. З розвитком обчислювальної техніки з'явилася можливість чисельного аналізу математичних моделей. Громіздкі експерименти на реальних матеріальних об'єктах, які дуже дорого коштують, замінюють чисельними експериментами на математичних моделях. Використання електронно-обчислювальної техніки віднайшло принципово нові можливості для проектування нових складних систем з одночасним скороченням термінів їхньої розробки і впровадження у виробництво, що забезпечило вибір оптимальних режимів технологічних процесів, створило умови для вдосконалення управління і підвищення продуктивності праці [147].

Кожен метод дослідження має свої переваги і недоліки. У математичному моделюванні для кожної залежності в моделі мають бути визначені умови її застосування. Кожна залежність в моделі будується на припущеннях. Важливою перевагою математичних моделей є універсальність мови математики, можливість використання одних і тих самих моделей для дослідження різних систем. Кожна модель є певною комбінацією складників, таких як компоненти, змінні, параметри, функціональні залежності, обмеження, цільові функції [147].

Стандартних рекомендацій з вибору і побудови моделей дослідники не наводять. Модель повинна відображати суттєві явища процесу. Дрібні фактори, зайва деталізація тільки ускладнюють модель і теоретичні дослідження, роблячи їх досить громіздкими [145, 147]. Тому модель повинна бути оптимальною за своєю складністю й адекватною, тобто описувати закономірності досліджуваного явища з достатньою точністю. Зрозуміло, що під час побудови моделі необхідно враховувати особливості досліджуваного явища: лінійність і нелінійність, детермінованість і стохастичність, безперервність і дискретність, тощо.

Транспортна система міського пасажирського транспорту є складно організованою системою і її адекватну фізичну модель відтворити непросто. До того ж складно віднайти фізичні аналоги елементів транспортної системи, а отримана модель буде недостатньо гнучкою. Проаналізувавши переваги та недоліки математичного та фізичного моделювання, можна дійти висновку, що доцільною буде побудова математичної моделі зміни витрат часу пасажирів на пересування залежно від довжини перегону. Сутність моделі полягає в отриманні математичної залежності величини складників затрат часу пасажирів на пересування від факторів, що на них впливають.

Розробка моделей процесів і об'єктів, на думку дослідників, повинна розпочинатися з визначення цілей, тому що система є засобом досягнення мети. Після встановлення мети необхідно визначити параметри моделі і критерії моделювання: зону дії або межі досліджуваного об'єкта чи процесу, глибину деталізації, прийняті допущення, фізичні обмеження і обмеження, які накладаються умовами безпеки, необхідну точність, тощо [147].

Істотним в розробці моделей, на думку дослідників, є також відбір факторів, які визначають об'єкт дослідження і його стан. Кожен фактор повинен мати ділянку визначення. Її встановлюють із принциповими і технологічними обмеженнями [145, 147].

Дослідники вказують на дві важливі вимоги, які висуваються щодо сукупності факторів: відсутність кореляції між будь-якими двома факторами і вимога сумісності факторів. Вимога відсутності кореляції не означає, що між факторами не повинно бути ніякого зв'язку. Достатньо, щоб цей зв'язок не був лінійним. Несумісність факторів може виникати тоді, коли деякі комбінації їхніх значень не можуть бути здійснені [145, 148]. Під час складання списку факторів дослідники рекомендують ураховувати всі можливі, якою б великою не була їхня кількість. Краще, на їх думку, включити кілька зайвих, неістотних факторів, ніж пропустити один, істотний. Подальший відбір факторів необхідно здійснювати експертним методом або за результатами попереднього пошукового експерименту.

У моделі системи дослідники розрізняють змінні двох видів – екзогенні (вхідні) і ендогенні (вихідні). Вхідні параметри виникають поза системою або є результатом взаємодії зовнішніх факторів. Ендогенними змінними, на думку дослідників, є змінні, що виникають у системі внаслідок впливу внутрішніх факторів. Функціональні залежності описують поведінку змінних і параметрів у межах компонента або ж виражають співвідношення між компонентами системи. Ці співвідношення за своїм походженням є або детермінованими, або стохастичними [146]. Обидва типи співвідношень зазвичай виражаються у вигляді алгоритмів, які встановлюють залежність між змінними станами та екзогенними змінними. Обмеження визначають зміну значень усіх змінних або тих, що обмежують умови їхньої зміни. Цільова функція, на думку дослідників, має бути точним відображенням цілей або завдань

системи і необхідних правил оцінки їх виконання. Вираз для цільової функції має однозначно визначати цілі та завдання, з якими повинні порівнюватися прийняті рішення [145].

Під час організації і управління роботою міського пасажирського транспорту виникають завдання, на досліджуване явище впливають численні фактори: головні і другорядні, істотні й неістотні які можна обчислити точно, які не можна виразити чисельно або можна вивіряти тільки приблизно. Залежність тому не визначається в кожному разі окремо, а тільки загалом, у середньому, і на підставі великої кількості випадків [146].

Для того щоб з'ясувати, які фактори і як вони впливають на досліджуване явище, дослідники застосовують статистичні методи кореляції і регресії [146]. Ці методи дають змогу розв'язати такі завдання: з'ясувати, чи існує кількісний зв'язок між досліджуваним явищем і певними величинами; який вид зв'язку і яким рівнянням його можна виразити; якою мірою результуюча величина схильна до коливань, незалежних від кожної величини, що впливає.

Методи кореляційного і регресійного аналізу дослідники вже застосовували під час встановлення науково обґрунтованих планових показників виробничих процесів, що забезпечують ефективне функціонування автомобільного транспорту [146, 149].

Отже, на підставі аналізу наведених методів моделювання можна дійти висновку про те, що найраціональнішими методами під час дослідження закономірностей зміни витрат часу пасажирів на пересування залежно від довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту є методи кореляційного і регресійного аналізу.

## **2.2 Аналіз факторів, що впливають на довжину перегонів маршруту міського пасажирського транспорту**

Під час організації перевезень пасажирів у містах використовується система взаємопов'язаних первинних і розраховуваних показників, які характеризують можливе і фактичне використання транспортних засобів за наявних експлуатаційних умов. Це система техніко-експлуатаційних показників [37].

До техніко-експлуатаційних показників маршруту, які використовуються під час організації і управління перевезеннями пасажирів і впливають на витрати часу пасажирів на пересування, належать:

- довжина маршруту;
- кількість зупинкових пунктів маршруту;
- середня довжина перегону маршруту;
- час рейсу і час обороту;
- швидкість руху транспортних засобів.

Довжина маршруту залежить від адміністративних меж населеного пункту [37]. Вона може визначати середню відстань пересування пасажирів і таким чином впливати на витрати часу на пересування. Зупинкові пункти на маршрутах розташовують відповідно до наявних правил мікрорайонування, що враховують планувальну структуру міста, взаємне розташування в ньому житлових зон, промислових районів і культурно-побутових центрів, організацію дорожнього руху різних видів транспорту, розміщення різноманітних центрів тяжіння населення, тощо. Довжина маршруту і кількість зупинкових пунктів визначає середню довжину перегону.

Параметрами, що характеризують пасажиропотоки на маршруті, є такі:

- значення пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту;
- об'єм перевезень на маршруті;
- середня відстань поїздки пасажирів;
- коефіцієнт змінюваності.

Перші два параметри визначають пасажиронапруженність маршруту і кількість транспортних засобів відповідної місткості, необхідні для освоєння пасажиропотоку.

Середня довжина поїздки пов'язана з територіальними розмірами міста, розташуванням транспортної мережі, маршрутною системою і планувальною структурою міста [2]. Як показник перевезень середня довжина поїздки може також оцінювати правильність організації маршрутної системи міста і його окремих районів, визначати обсяг транспортної роботи та інші виробничо-експлуатаційні показники міського пасажирського транспорту [2].

Параметрами транспортних засобів можна вважати такі:

- питома потужність двигуна транспортного засобу;
- кількість дверей в транспортному засобі;
- номінальна місткість;
- коефіцієнт використання місткості транспортного засобу.

Питома потужність двигуна є фактором, що визначає динамічні характеристики транспортного засобу. Кількість дверей в транспортному засобі має значення для тривалості часу простою на зупинкових пунктах. Номінальна місткість характеризує максимально можливу кількість пасажирів, що знаходяться в транспортному засобі. Крім того, вона пов'язана з його габаритними розмірами і може впливати на можливість маневрування в транспортному потоці. Коефіцієнт використання місткості визначає фактичне заповнення салону транспортного засобу.

До параметрів, що характеризують дорожні умови, належать:

- кількість смуг по напрямку руху транспортного засобу;
- коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;
- відстань видимості;
- інтенсивність транспортного потоку;
- швидкість транспортного потоку.

Кількість смуг руху визначає розміри проїжджої частини дороги і впливає на умови маневрування транспортного засобу в потоці. Коефіцієнт зчеплення, залежний від стану дороги і типу покриття [149 – 152], визначає технічну швидкість на перегонах маршруту [149, 153, 154]. Умови видимості, що також визначають технічну швидкість транспортних засобів міського пасажирського транспорту [149, 155], дослідники оцінюють за відстанню видимості дорожнього покриття [149].

Склад транспортного потоку, тип і стан покриття дороги, ступінь рівності, подовжний профіль дороги і план траси впливають на швидкість транспортного потоку. Інтенсивність руху транспортних засобів в потоці може визначати можливість виникнення перешкод руху транспортних засобів міського пасажирського транспорту з боку інших автомобілів [149].

### **2.3 Методика проведення натурних обстежень**

Для отримання вихідних даних, необхідних для побудови моделей зміни параметрів руху транспортних засобів залежно від довжини перегону, були проведені натурні дослідження табличним методом [1].

Дослідження проводилися на маршрутах різної протяжності з використанням транспортних засобів з різними технічними характеристиками. На першому етапі дослідження в облікових таблицях зазначали параметри, що характеризують маршрут і транспортний засіб. Параметри, що характеризують маршрут перевезення, фіксувалися за підставі паспорта маршруту. Це номер маршруту, його довжина, довжина перегонів, кількість зупиночних пунктів, кількість транспортних засобів. Параметри, що характеризують транспортний засіб, фіксувалися на його організаційними й технічними даними. Це номер транспортного засобу, його марка, кількість дверей, місткість, питома потужність двигуна.

Під час обстеження в салоні транспортного засобу знаходилися обліковці, які реєстрували кількість пасажирів, що увійшли до транспортного засобу, і, відповідно, кількість пасажирів, що зійшли на зупинковому пунктах. Оскільки одному обліковцеві важко фіксувати пасажиропотік, їх кількість співпадала з кількістю дверей. Також під час руху фіксувався час прибуття та відходу транспортного засобу з кожного зупинкового пункту, відстань видимості дорожнього покриття і його тип, кількість смуг руху. Одночасно фіксувалися інтенсивність і швидкість транспортного потоку на маршруті.

Після оброблення результатів обстеження було розраховано час простою на зупинкових пунктах, час руху перегонами, пасажирообмін зупинкових пунктів в кожному рейсі, середню довжину поїздки пасажирів, час рейсу, час оберту, інтервал руху, коефіцієнт використання пасажиромісткості, коефіцієнт змінюваності, коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою та інші необхідні показники.

Отже, після проведення натурального обстеження і оброблення його результатів були отримані всі дані, необхідні для розробки моделей параметрів руху транспортних засобів залежно від довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту.

Результати обстежень параметрів руху автобусів на перегоні маршруту та параметрів простою автобусів на зупинкових пунктах, а також факторів, які на них впливають, наведені в додатках А та Б.

## **2.4 Висновки до розділу**

Аналіз методів моделювання засвідчив, що для дослідження закономірностей змінювання витрат часу пасажирів на пересування залежно від довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту доцільно використовувати методи кореляційного і регресійного аналізу.

Аналіз факторів, що впливають на довжину перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту та забезпечують мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, дав змогу виявити усі фактори, які були використані в натурних обстеженнях з метою фіксації фактичних величин.

### **3 ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПЕРЕГОНІ МАРШРУТУ**

#### **3.1 Аналіз залежностей технічної швидкості транспортних засобів на перегоні маршруту**

На підставі інформації, отриманої під час проведення обстеження, можна математично описати залежність між параметрами технологічного процесу перевезення пасажирів і умовами їхнього виконання.

На першому етапі дослідження було проаналізовано вплив кожного з раніше визначених факторів на значення технічної швидкості транспортних засобів на перегоні маршруту. Цей аналіз здійснювався на підставі математичного опису графіків залежності між досліджуваними параметрами. Це було необхідно для того, щоб здійснити рейтингову оцінку величини впливу окремих факторів [156, 157].

Для розв'язання завдання математичного опису змінювання технічної швидкості були обрані методи кореляційного та регресійного аналізу [146]. Розмір вибірки під час розроблення регресійних моделей визначався відповідно до рекомендацій, за якими кількість спостережень має бути в 6–7 разів більша за кількість факторів, стосуються моделі [158]. Для визначення коефіцієнтів регресії використовувався метод найменших квадратів [146, 159–168]. Характеристики параметрів моделі визначалися за відомими методами статистики [146, 162, 165, 167, 168]. Для визначення значущості факторів, стосуються моделі, використовувався критерій Стьюдента [160, 166–168]. Інформаційна спроможність визначалася за критерієм Фішера [158, 160, 164, 167]. Щільність зв'язку між залежною змінною і факторами, що впливають на її значення, визначалася за коефіцієнтом кореляції [146]. Вплив неврахованих факторів оцінювався за коефіцієнтом детермінації [146].

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від стажу роботи водія наведено на рисунку 3.1.



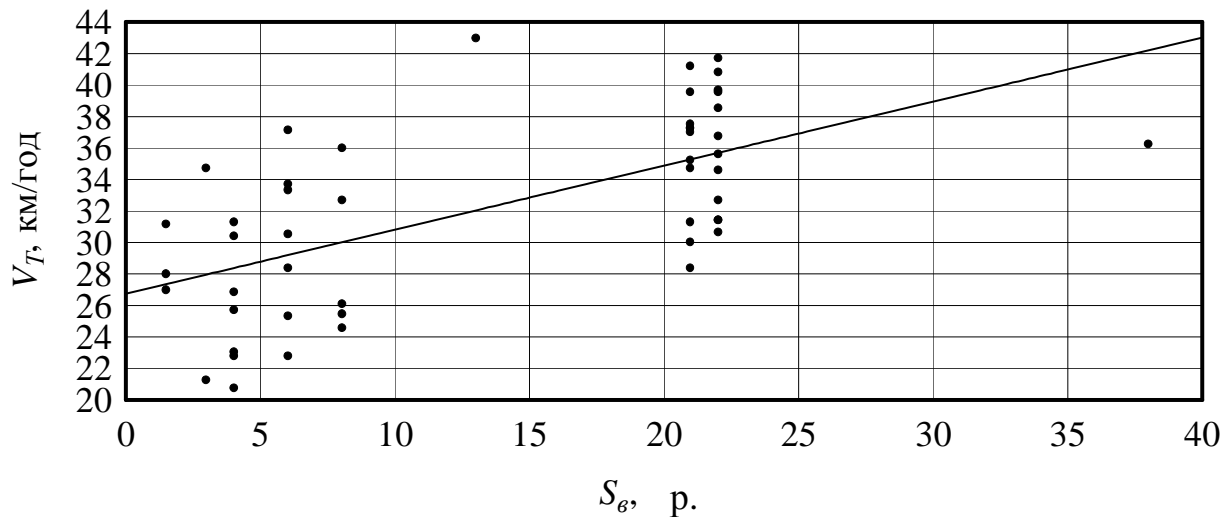


Рисунок 3.1 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від стажу роботи водія

Ця залежність може бути представлена такою формулою:

$$V_T = 26,75 + 0,41S_g, \quad (3.1)$$

де  $S_g$  – стаж роботи водія на автобусі, р.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 22,25, а для коефіцієнта – 5,51. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296. Це свідчить про значущість фактора стажу роботи водія на автобусі. Модель має високу інформаційну спроможність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 30,31, а його табличне значення – 1,52. Коефіцієнт множинної кореляції моделі дорівнює 0,63. Отже, має місце помітний ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною. Значення коефіцієнта детермінації, що дорівнює 0,39, доводить, що на значення  $V_T$  цей показник впливає менше, ніж фактори, не враховані в моделі.

Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана під час практичних розрахунків. Якщо на це не зважати, то зрозуміло, що отримана модель свідчить про те, що зі збільшенням стажу роботи водія, який визначає досвід та майстерність водіння автомобіля, швидкість руху збільшується.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від кількості місць для сидіння наведено на рисунку 3.2.

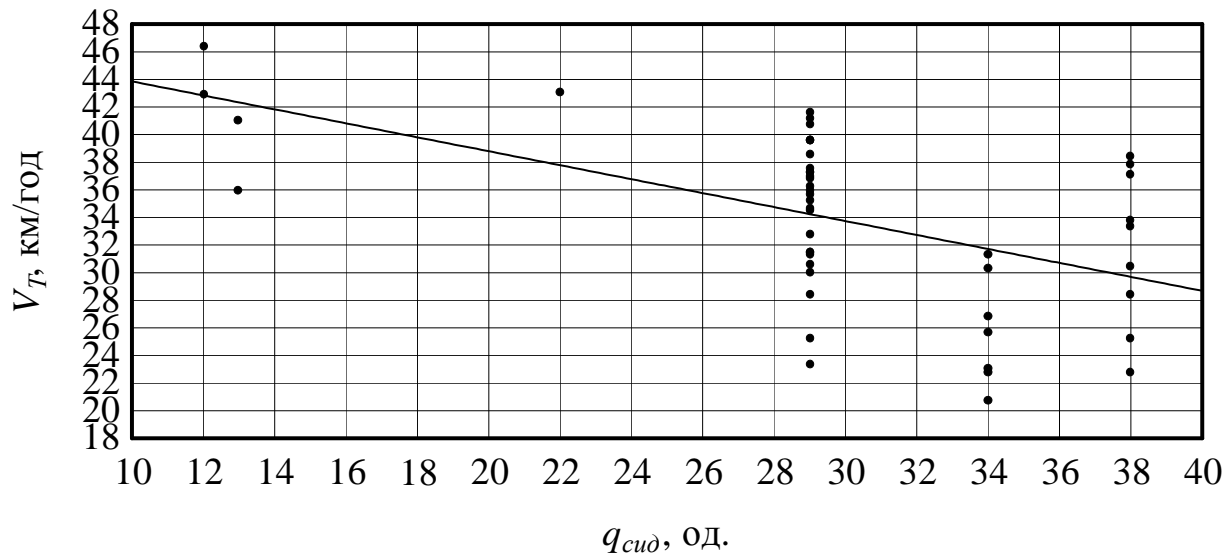


Рисунок 3.2 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від кількості місць для сидіння

Залежність може бути представлена такою формулою:

$$V_T = 48,91 - 0,51q_{суд}, \quad (3.2)$$

де  $q_{суд}$  – кількість місць для сидіння, од.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 13,41, а для коефіцієнт – 4,24. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296. Це свідчить про значущість фактора кількості місць для сидіння. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 30,31, а його табличне значення – 1,52. Коефіцієнт множинної кореляції моделі – 0,63. Отже, має місце значний ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,28, доводить, що на значення  $V_T$  цей показник впливає менше, ніж фактори, не враховані в моделі.

Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана для практичних розрахунків. Хоча доводить, що зі зменшенням кількості місць для сидіння збільшується швидкість руху. Кількість місць для сидіння визначається габаритами транспортного засобу. Зі зменшенням габаритів покращуються умови маневрування в транспортному потоці.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від номінальної місткості наведено на рисунку 3.3.

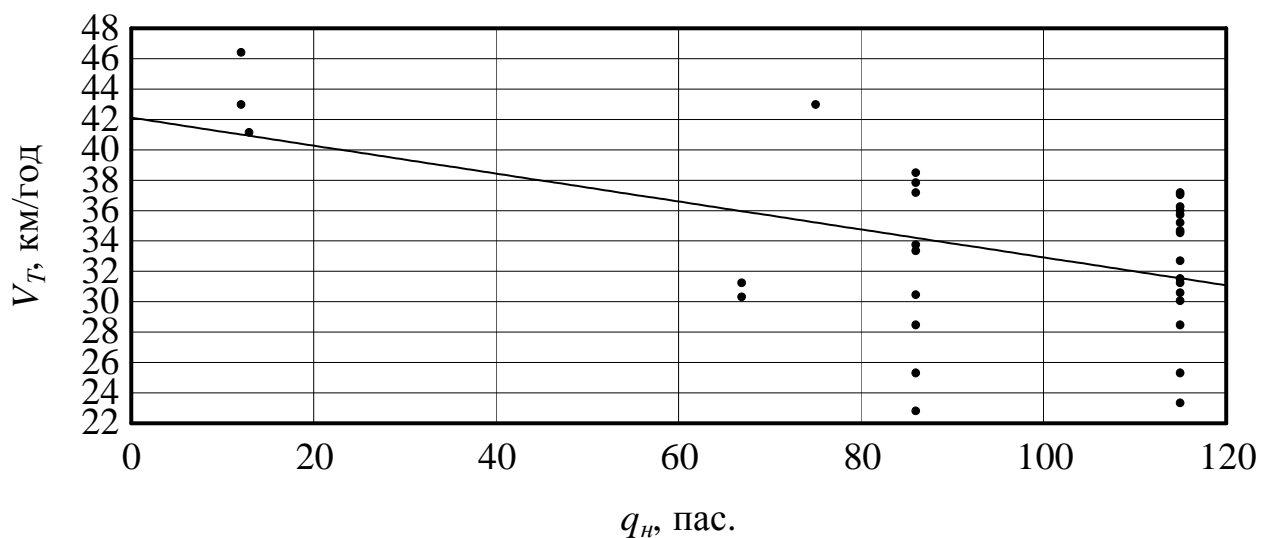


Рисунок 3.3 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від номінальної місткості

Ця залежність може бути представлена такою формулою:

$$V_T = 42,12 - 0,09q_n, \quad (3.3)$$

де  $q_n$  – номінальна місткість автомобіля, пас.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 15,19, а для коефіцієнта – 3,25. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296. Це свідчить про значущість фактора номінальної місткості транспортного засобу.

Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 10,55, а його табличне значення – 1,89.

Коефіцієнт множинної кореляції моделі становить 0,51. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною значний. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,26, доводить, що на значення  $V_T$  цей показник впливає менше, ніж фактори, не враховані в моделі.

Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана для практичних розрахунків, доводить, що зі зменшенням номінальної місткості збільшується швидкість руху.

Номінальна місткість, або кількість місць для сидіння, пов'язана з габаритами транспортних засобів, що впливає на можливість маневрування в транспортному потоці.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від об'єму двигуна автомобіля наведено на рисунку 3.4.

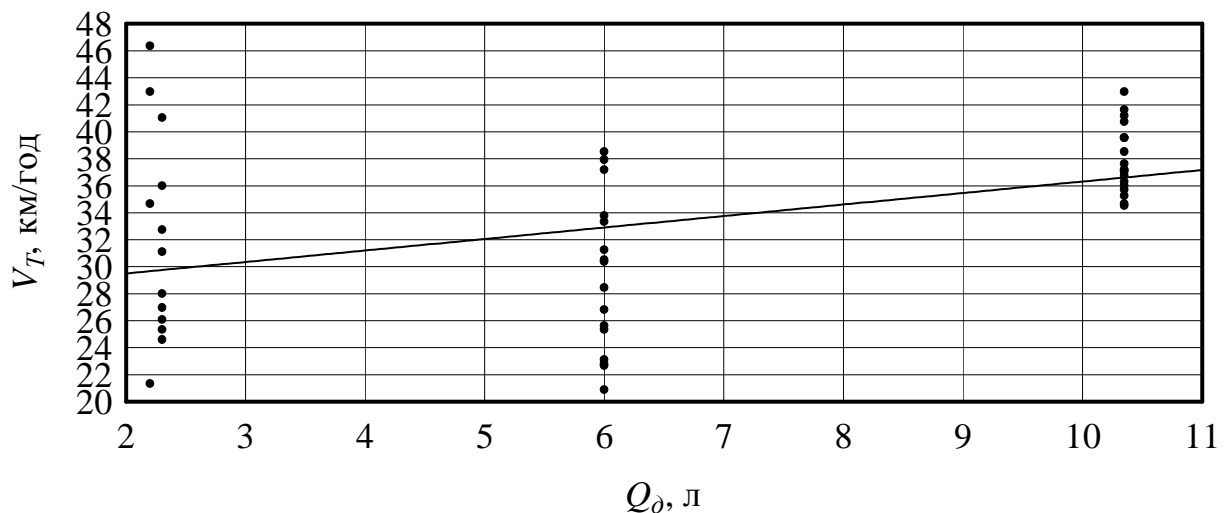


Рисунок 3.4 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від об'єму двигуна

Використовується така формула:

$$V_T = 27,79 + 0,85Q_d, \quad (3.4)$$

де  $Q_d$  – об'єм двигуна транспортного засобу, л.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 14,10, а для коефіцієнта – 3,23. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296. Це свідчить про значущість фактора об'єму двигуна. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 10,43, а його табличне значення – 1,52. Коефіцієнт множинної кореляції – 0,43. Отже, має місце помірний ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,18, доводить, що на значення технічної швидкості транспортного засобу цей показник впливав менше, ніж фактори, не враховані в моделі.

Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана в дослідженнях надалі, хоча доводить, що зі збільшенням об'єму двигуна збільшується і швидкість руху за маршрутом.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від довжини автобуса наведено на рисунку 3.5.

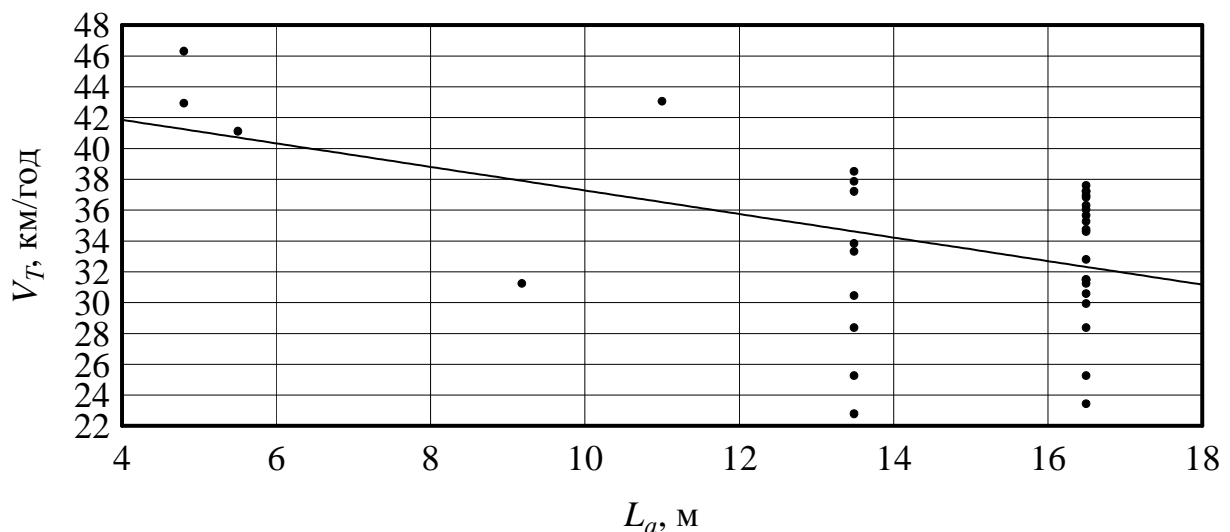


Рисунок 3.5 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від довжини автобуса

Використовується така формула:

$$V_T = 44,92 - 0,76L_a, \quad (3.5)$$

де  $L_a$  – довжина автобуса, м.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 12,44, а для коефіцієнта – 3,12. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296. Це свідчить про значущість фактора довжини автобуса. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 9,70, а його табличне значення – 1,89.

Коефіцієнт множинної кореляції моделі становить 0,48. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною помірний. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,23, доводить, що на значення досліджуваного параметра цей показник впливає менше, ніж фактори, не враховані в моделі.

Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана для практичних розрахунків, хоча доводить, що зі зменшенням довжини автобуса збільшується швидкість руху. Довжина автобуса також визначає можливість маневрування в транспортному потоці.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від відстані видимості дорожнього покриття подано на рисунку 3.6.

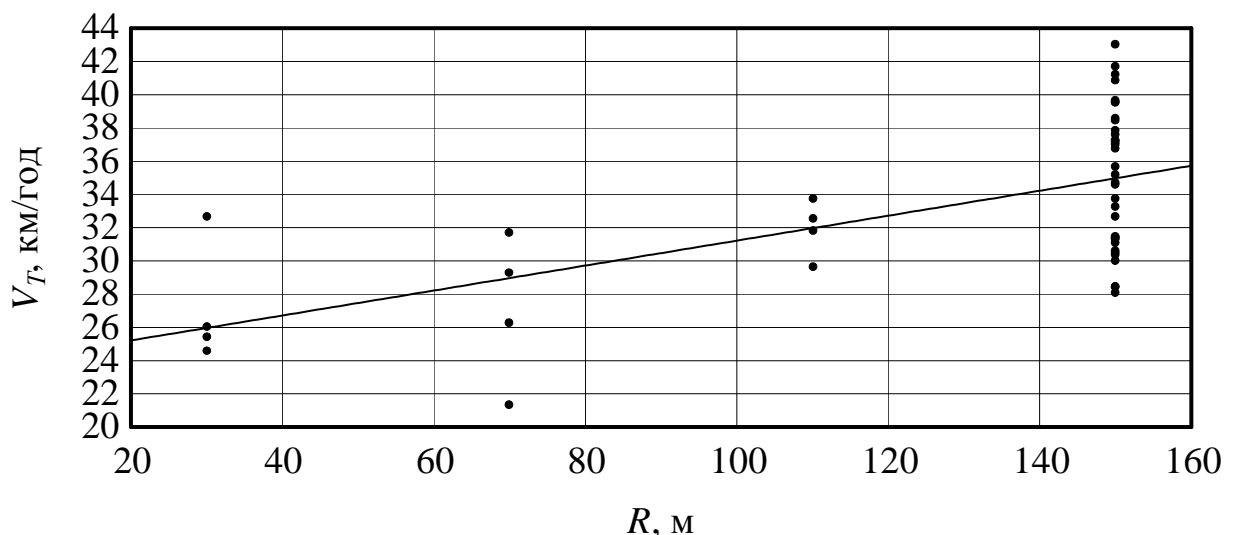


Рисунок 3.6 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від відстані видимості дорожнього покриття

Отримано залежність:

$$V_T = 23,66 + 0,08R, \quad (3.6)$$

де  $R$  – відстань видимості дорожнього покриття, м.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 9,18, а для коефіцієнта – 4,13. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296. Це свідчить про значущість фактора відстані видимості дорожнього покриття. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 17,04, а його табличне значення – 1,89.

Коефіцієнт множинної кореляції моделі дорівнює 0,56. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною значний.

Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана для практичних розрахунків, хоча доводить, що зі збільшенням відстані видимості збільшується швидкість руху. Кращі умови видимості дають можливість водієві впевненіше рухатися за маршрутом.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від віку водія наведено на рисунку 3.7.

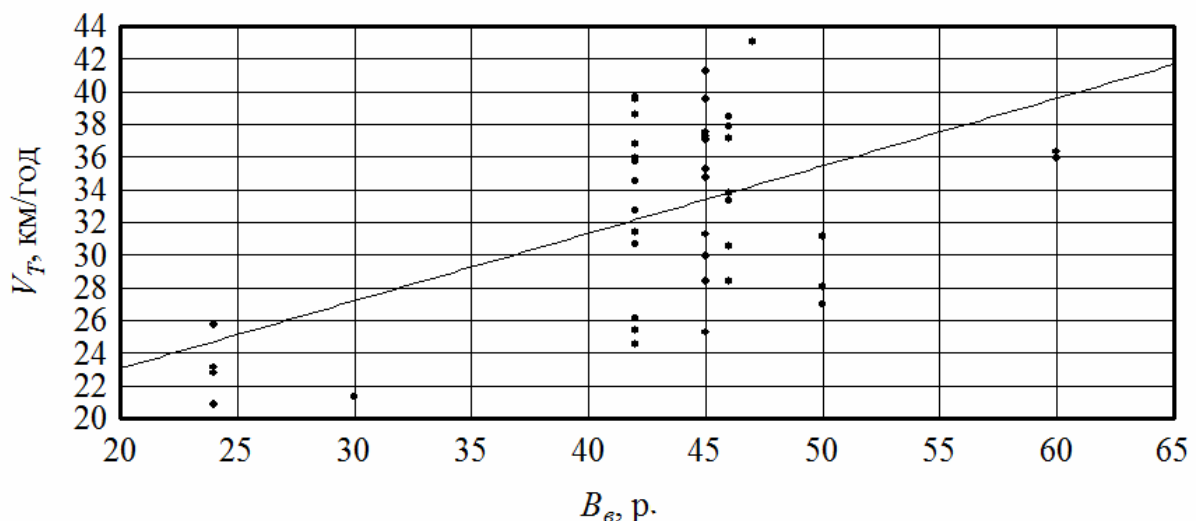


Рисунок 3.7 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту транспортного засобу залежно від віку водія

Залежність подано такою формулою:

$$V_T = 14,79 + 0,41B_e, \quad (3.7)$$

де  $B_e$  – вік водія транспортного засобу, р.

Критерій Стюдента для константи становить 3,47, а для коефіцієнта – 4,23. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі – 1,296. Це свідчить про значущість фактора віку водія транспортного засобу. Інформаційна здатність моделі висока, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 17,93, а його табличне значення – 1,52.

Між досліджуваними параметрами значний ступінь щільності зв'язку, оскільки коефіцієнт множинної кореляції моделі дорівнює 0,54. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,29, доводить, що на значення технічної швидкості автомобіля цей показник менше впливає, ніж фактори, не враховані в моделі.

Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона не може бути використана в дослідженнях надалі, хоча доводить, що зі збільшенням віку водія збільшується і швидкість руху, оскільки більш досвідчений водій може краще контролювати швидкість руху.

Графічне зображення експериментальних точок залежності зміни технічної швидкості автобуса на перегоні маршруту від значення питомої потужності двигуна наведено на рисунку 3.8.

Ця залежність може бути представлена такою формулою:

$$V_T = 23,16 + 0,65U, \quad (3.8)$$

де  $U$  – питома потужність двигуна автобуса, кВт/т.

Для коефіцієнта розрахункове значення критерію Стюдента дорівнює 8,01, а для константи – 16,48. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,325, що свідчить про достатню значущість показника питомої потужності двигуна. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 64,14, що перевищує його табличне значення – 2,08. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,88. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною високий.



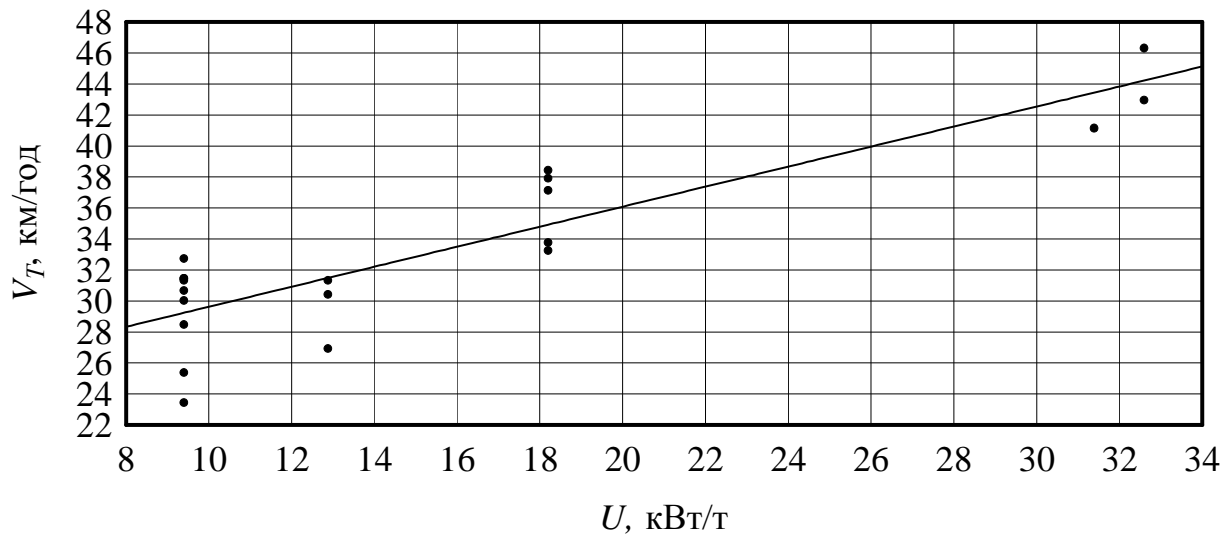


Рисунок 3.8 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від питомої потужності двигуна

Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,78, доводить, що цей фактор значно впливає на значення технічної швидкості автобуса, тому його доцільно використовувати в дослідженнях надалі. Аналіз отриманої моделі дає змогу зробити висновок про те, що на технічну швидкість істотно впливає питома потужність двигуна автобуса, що визначає його динамічні якості.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості автобуса на перегоні маршруту залежно від значення коефіцієнта використання місткості автобуса наведено на рисунку 3.9.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 34,29, а для коефіцієнта – 8,54. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,303, що свідчить про достатню значущість коефіцієнта заповнення салону.

Ця залежність може бути подана такою формулою:

$$V_T = 43,21 - 23,96\gamma, \quad (3.9)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт використання місткості автобуса.

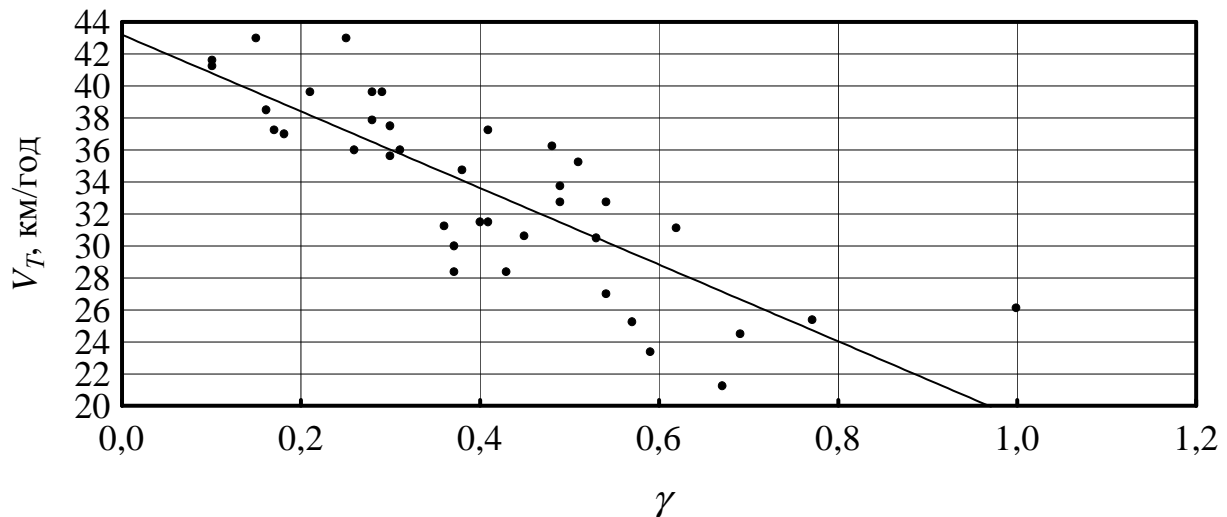


Рисунок 3.9 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від коефіцієнта використання місткості автобуса

Модель має високу інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 72,88, що перевищує його табличне значення – 1,52. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,82. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною високий.

Значення коефіцієнта детермінації, що дорівнює 0,67, доводить, що цей фактор впливає на значення технічної швидкості автобуса, тому його доцільно використовувати у дослідженнях надалі.

Можна дійти висновку, що коефіцієнт використання місткості автобуса впливає на зменшення технічної швидкості. Зрозуміло, що зі зменшенням значення коефіцієнта використання місткості автобуса, тобто кількості пасажирів у ньому, збільшується і швидкість автомобіля.

Графічне зображення експериментальних точок зміни технічної швидкості автобуса на перегоні маршруту залежно від значення коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою наведено на рисунку 3.10.

Використовується така формула:

$$V_T = 21,54 + 23,67 K_{зч}, \quad (3.10)$$

де  $K_{зч}$  – коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою.

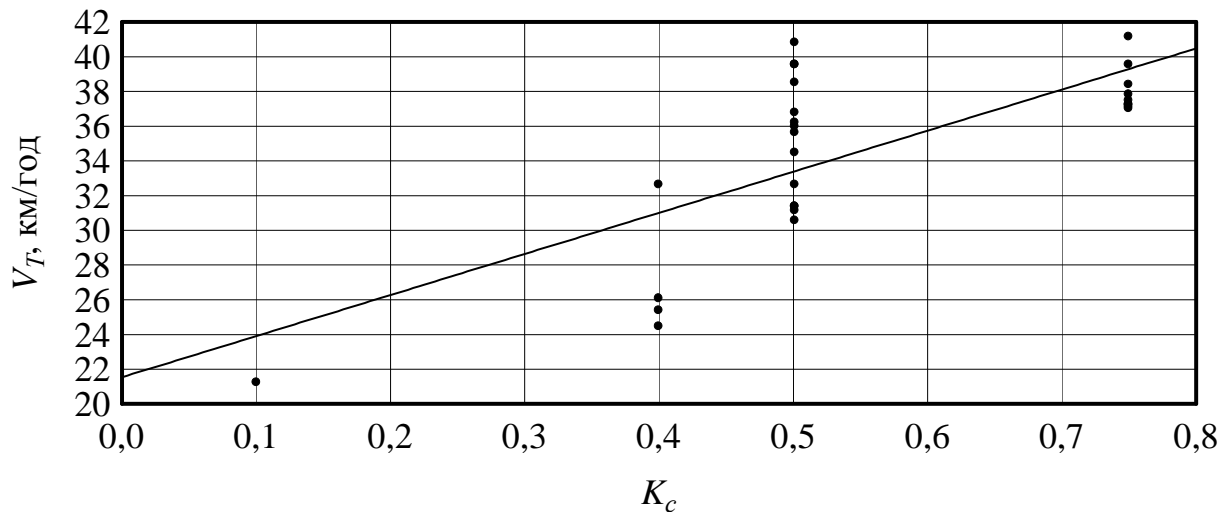


Рисунок 3.10 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 8,49, а для коефіцієнта – 5,36. Табличне значення цього критерію становить 1,31, що свідчить про достатню значущість коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 28,69, що перевищує його табличне значення 1,93. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,72. Це свідчить про те, що ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною значний. Значення коефіцієнта детермінації, яка дорівнює 0,52, доводить, що цей фактор впливає на значення технічної швидкості автобуса, тому його доцільно використовувати в дослідженнях надалі. Можна зробити висновок про те, що коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою збільшує також технічну швидкість. Його значення визначає здатність автобуса розвивати максимальну швидкість.

Графічне зображення експериментальних точок залежності зміни технічної швидкості автобуса на перегоні маршруту від довжини перегону наведено на рисунку 3.11.

Залежність може бути подана такою формулою:

$$V_t = 19,87 + 16,13l_n, \quad (3.11)$$

де  $l_n$  – довжина перегону, км.

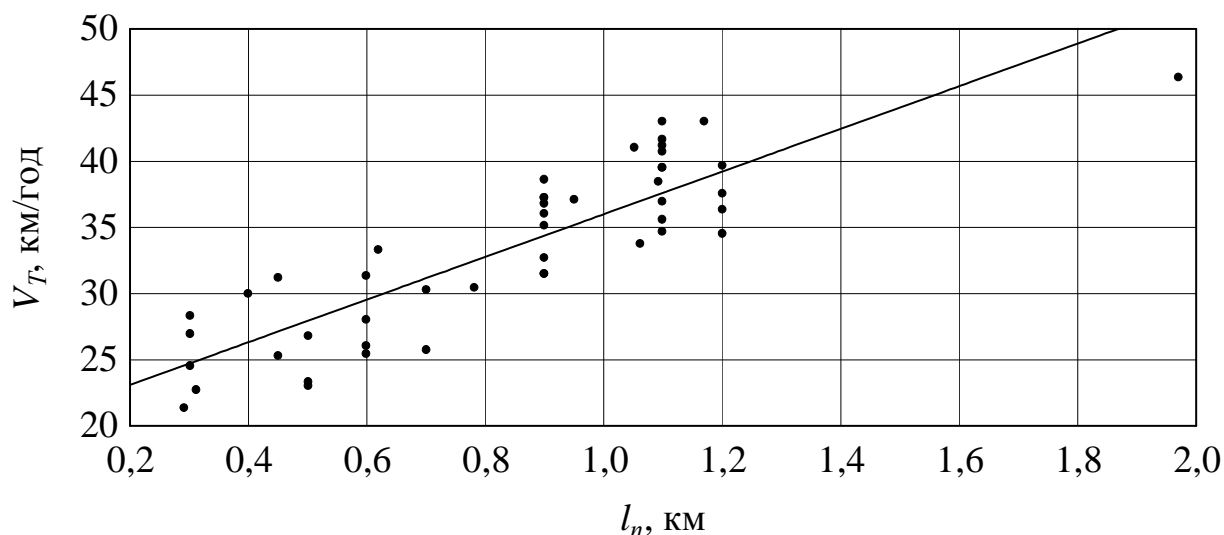


Рисунок 3.11 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від довжини перегону

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 15,86, а для коефіцієнта – 11,68. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296, що свідчить про значущість фактора довжини перегону. Модель має велику інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 136,43, що перевищує його табличне значення – 1,52. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,87. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною високий.

Можна зробити висновок: що більша довжина перегону, то більшу швидкість можна на ньому розвинути. Це зумовлює здатність автобуса тривалий час рухатися з постійною швидкістю.

Графічне зображення експериментальних точок залежності зміни технічної швидкості автобуса на перегоні маршруту від швидкості потоку транспортних засобів наведено на рисунку 3.12.

Ця залежність може бути представлена такою формулою

$$V_T = 18,12 + 0,44V_{II}, \quad (3.12)$$

де  $V_{II}$  – швидкість транспортного потоку, км/год.

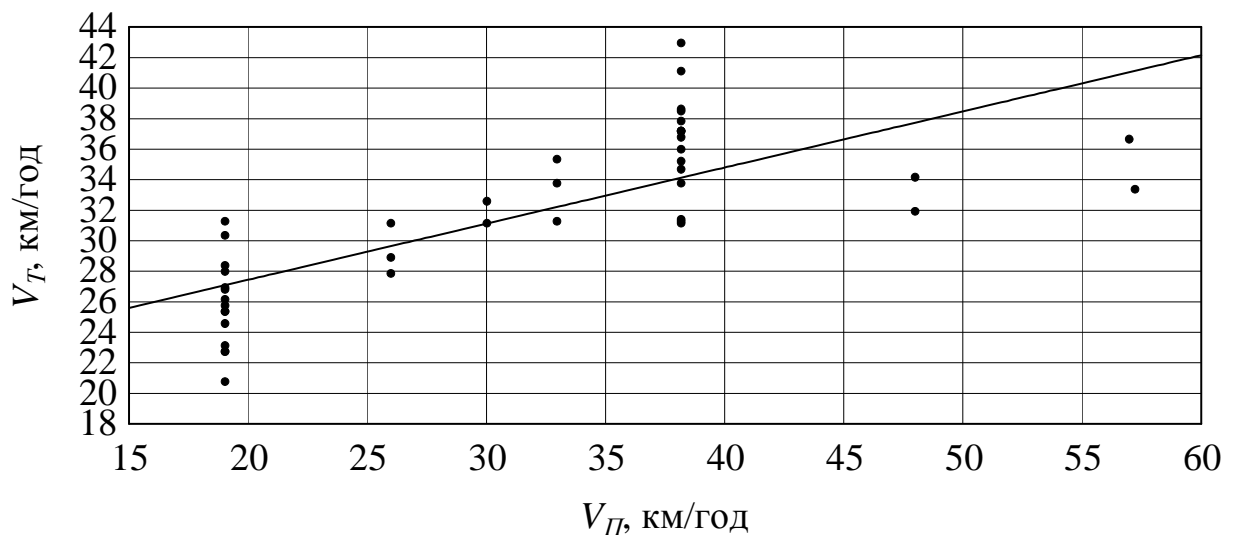


Рисунок 3.12 – Графік змінювання технічної швидкості міського пасажирського автомобільного транспорту на перегоні маршруту залежно від швидкості транспортного потоку

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 9,15, а для коефіцієнта – 7,09. Табличне значення цього критерію становить 1,31, що свідчить про значущість фактора швидкості транспортного потоку. У моделі велика інформаційна здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 50,2, що перевищує його табличне значення – 1,89. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,79. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною високий. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,63, доводить, що цей фактор впливає на значення технічної швидкості автобуса, тому його доцільно використовувати в дослідженнях надалі.

Можна зробити висновок: що більша швидкість потоку транспортних засобів, то більша швидкість проходження автобусом маршруту пересування. Швидкість транспортного потоку визначає загальні умови руху.

Отримані моделі відображають значення впливу параметрів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту, дорожніх умов, пасажиропотоків, транспортних засобів і водія на технічну швидкість транспортних засобів на перегоні маршруту.

Разом із тим, використовувати ці моделі для вирішення завдань щодо визначення впливу довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту на параметри перевезення пасажирів не можна,

тому що коефіцієнти кореляції незначні. Ці моделі характеризують залежність технічної швидкості транспортних засобів на перегоні маршруту від одного фактора. Насправді ж ці фактори спричиняють взаємний вплив. Описати зміну цього показника відповідно до перелічених вище параметрів можна за допомогою методу множинної кореляції.

### **3.2 Модель змінювання технічної швидкості транспортних засобів**

На другому етапі дослідження розроблялася багатофакторна модель змінювання технічної швидкості під час руху перегоном маршруту. Перед розробленням моделі, згідно з рекомендаціями, наведеними в роботі [158], було проведено оцінювання функційних зв'язків між факторами, які характеризують той бік явища, що вивчається. Для цього були розраховані часткові коефіцієнти кореляції. Матриця парних коефіцієнтів кореляції наведена в таблиці 3.1.

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що досліджені фактори не корелюються. Винятком є взаємозв'язок між параметрами транспортного засобу – довжиною, кількістю місць для сидіння, об'ємом двигуна, питомою потужністю і номінальною місткістю.

Помітна кореляція спостерігається також між віком водія і розміром транспортного засобу.

Це пояснюється тим, що на великих за габаритами транспортних засобах працюють більш досвідчені водії. Крім того, помітний ступінь кореляції спостерігається між значеннями коефіцієнта заповнення салону і кількістю пасажирів на перегоні маршруту. Це пояснюється їхнім функційним взаємозв'язком.

Отже, під час розроблення моделі зміни технічної швидкості транспортних засобів доцільно використовувати будь-який з факторів, що корелюються. Як розв'язок завдання розробки регресійної моделі впливу зміни технічної швидкості автобуса була обрана модель лінійного типу. Розмір вибірки під час розроблення регресійної моделі визначався відповідно до рекомендацій [158], за якими кількість спостережень має бути в 6–7 разів більша за кількість факторів, що визначають модель [158]. Для визначення коефіцієнтів регресії використовувався метод найменших квадратів [147, 159, 162–165, 167, 168]. Характеристики параметрів моделі визначалися за відомими методами статистики [147, 160–162, 165–170].

Таблиця 3.1 – Матриця парної кореляції факторів, досліджених під час визначення закономірностей змінювання швидкості транспортних засобів на перегоні маршруту

Фактори	Довжина автобуса	Вік водія	Кількість перегонів	Кількість місць для сидіння	Довжина перегону	Коефіцієнт зчеплення	Відстань видимості дорожнього покриття	Пасажиропотік на перегоні	Об'єм двигуна	Питома потужність	Номінальна місткість	Коефіцієнт заповнення салону	Швидкість транспортного потоку
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Довжина автобуса	1,00	-0,75	0,03	0,81	0,14	-0,14	0,13	-0,04	0,8	-0,91	-0,99	-0,02	-0,02
Вік водія	-0,75	1,00	-0,08	-0,43	-0,01	-0,1	-0,06	-0,02	-0,52	0,46	0,68	0,07	0,09
Кількість перегонів	0,03	-0,08	1,00	0,01	-0,44	-0,1	0,04	0,02	0,02	0,03	-0,03	-0,11	0,13
Кількість місць для сидіння	0,81	-0,43	0,01	1,00	0,03	-0,47	-0,04	-0,11	0,86	-0,87	-0,87	0,09	0,01
Довжина перегону	0,14	-0,01	-0,44	0,03	1,00	0,37	-0,07	0,29	0,04	-0,20	-0,15	-0,3	0,04
Коефіцієнт зчеплення	-0,14	-0,10	-0,1	-0,47	0,373	1,000	-0,26	0,31	-0,21	0,2	0,16	-0,25	0,07

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Пасажиропотік на перегоні	−0,04	−0,02	0,02	−0,11	0,3	0,3	−0,12	1,00	0,03	0,16	−0,01	−0,76	−0,11
Відстань видимості	0,13	−0,06	0,04	−0,04	−0,07	−0,26	1,00	−0,12	−0,06	−0,15	−0,11	0,14	−0,07
Об'єм двигуна	0,8	−0,52	0,02	0,86	0,04	−0,2	−0,06	0,03	1,00	−0,81	−0,87	−0,04	0,15
Питома потужність	−0,91	0,46	0,03	−0,87	−0,2	0,2	−0,15	0,16	−0,81	1,00	0,94	−0,16	−0,15
Номінальна місткість	−0,99	0,68	−0,03	−0,87	−0,15	0,16	−0,11	−0,01	−0,87	0,94	1,00	0,04	−0,04
Коефіцієнт заповнення салону	−0,02	0,07	−0,11	0,09	−0,3	−0,25	0,14	−0,76	−0,05	−0,16	0,04	1,00	0,01
Швидкість транспортного потoku	−0,01	0,09	0,13	0,01	0,04	0,07	−0,07	−0,11	0,15	−0,15	−0,04	0,01	1,00



Для визначення значущості факторів, що формують до модель, використовувався критерій Стюдента [160, 166–170], а також довірчі інтервали кожного з коефіцієнтів регресії.

Результати розрахунків параметрів моделі зміни технічної швидкості автобуса під час руху перегонем маршруту наведені в таблиці 3.2, 3.3 та додатку Б.

Використовується така формула:

$$V_T = 20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_{зч}. \quad (3.13)$$

Отже, з усіх досліджуваних факторів значущими виявили лише п'ять, про що свідчить розрахункове значення критерію Стюдента, яке більше за табличне, і відсутність нуля в довірчому інтервалі кожного коефіцієнта моделі.

Після розроблення регресійної моделі проводилося її статистичне оцінювання. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.4.

Інформаційна здатність моделі визначалася за критерієм Фішера. Розрахункове значення набагато більше за табличне.

Таблиця 3.2 – Характеристика моделі змінювання технічної швидкості автобуса під час руху за маршрутом

Фактори	Позначення, розмірність	Межі вимірювання	Коефіцієнт	Стандартна похибка	Критерій Стюдента	
					розрахунковий	табличний
1	2	3	4	5	6	7
Довжина перегону	$l_n$ , км	0,1–1,97	20,83	1,64	12,72	2,39
Коефіцієнт використання місткості	$\gamma$	0,1–1,3	-7,43	3,58	2,70	2,39

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
Швидкість транспортного потоку	$V_{\Pi}$ , км/год	19–60	0,18	0,06	2,94	2,39
Питома потужність двигуна	$U$ , кВт/т	9,42–32,6	0,38	0,09	4,26	2,39
Коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою	$K_c$	0,2–0,75	12,91	2,47	5,22	2,39

Це свідчить про те, що модель зміни технічної швидкості автомобіля характеризує результати експерименту краще, ніж звичайна, у людей якій за будь-якого набору значень змінних результатом є константа, яка дорівнює середньому значенню. Критерій Фішера може визначати адекватність моделі, але тільки в тому разі, якщо проводяться спостереження, що повторюються. У розглянутому випадку повторювані спостереження не проводилися критерієм Фішера, тому інформаційна здатність моделі визначалася за таблицею 3.3.

Таблиця 3.3 – Довірчі інтервали коефіцієнтів моделі

Фактори	Нижня межа	Верхня межа
Довжина перегону	17,54	24,11
Коефіцієнт використання місткості	–14,62	–0,23
Швидкість потоку транспортних засобів	0,06	0,29
Питома потужність двигуна	0,20	0,56
Коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою	7,94	17,88

Щільність зв'язку між залежною змінною і факторами, які впливають на її рівень, визначалася коефіцієнтом множинної кореляції.

Значення коефіцієнта множинної кореляції свідчить про високий ступінь щільності зв'язку між значеннями технічної швидкості та обраними факторами.

Таблиця 3.4 – Результати оцінювання моделі змінювання технічної швидкості автобуса під час руху перегоном маршруту

Показники		Значення
Критерій Фішера	табличний	1,39
	розрахунковий	526,29
Коефіцієнт множинної кореляції		0,99
Середня похибка апроксимації, %		7,5

Оцінювання адекватності розробленої моделі проводилося за показником середньої похибки апроксимації. Значення середньої похибки апроксимації відповідає допустимим значеннями.

На підставі проведених розрахунків можна дійти висновку про можливість використання отриманої моделі зміни технічної швидкості автобуса під час дослідження впливу довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту на параметри перевезення пасажирів. Параметри моделі зміни технічної швидкості автобусів наведені в додатку Б.

### 3.3 Висновки до розділу

Однофакторні моделі змінювання технічної швидкості автобусів на перегоні маршруту свідчать, що визначальними є параметри маршруту, умов руху, транспортного засобу та водія.

Змінювання технічної швидкості автобусів на перегоні маршруту достатньо точно характеризується лінійним регресійним рівнянням, у якому змінними є параметри маршруту, транспортних засобів, пасажиропотоків та умов руху.

Отриману модель змінювання технічної швидкості автобусів на перегоні маршруту можна використовувати під час визначення середньої довжини перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування.

## 4 ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНЮВАННЯ ЧАСУ ПРОСТОЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ЗУПИНКОВИХ ПУНКТАХ МАРШРУТУ

### 4.1 Аналіз залежностей змінювання часу простою транспортних засобів на зупинкових пунктах

Другим етапом стало дослідження закономірностей зміни часу простою транспортних засобів на зупинкових пунктах під час руху маршрутом відповідно до методики, наведеної в розділі 3.

Спочатку було проаналізовано залежність зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від номінальної місткості автобуса, графічне зображення експериментальних точок якої, подано на рисунку 4.1.

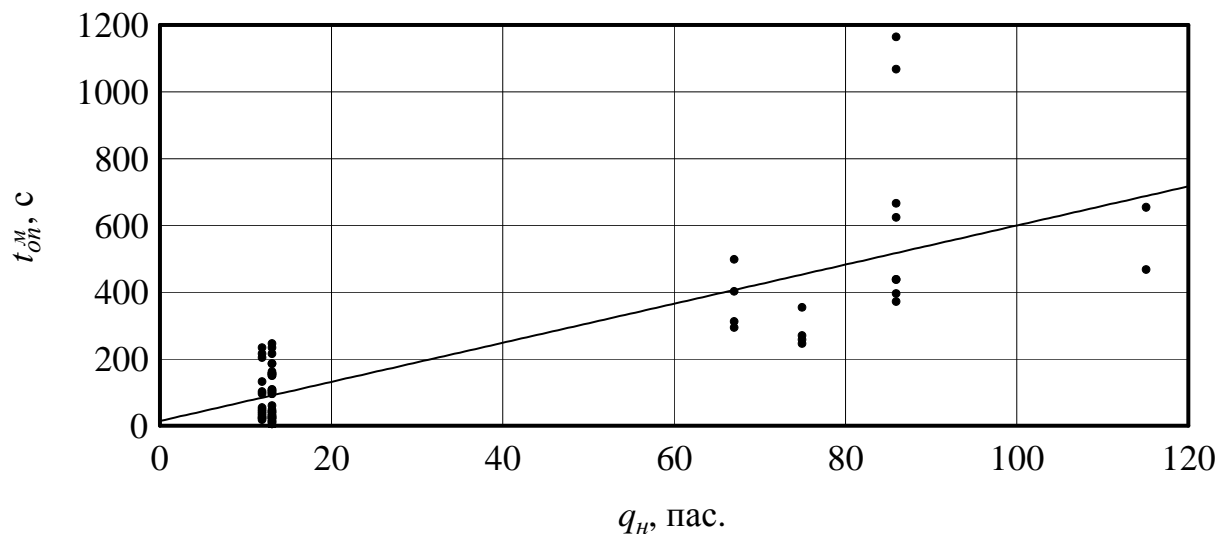


Рисунок 4.1 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від номінальної місткості

Отримана модель визначається такою формулою:

$$t_{on}^M = 14,71 + 5,85q_n, \quad (4.1)$$

де  $q_n$  – номінальна місткість автобуса, пас.

Розрахункове значення критерію Стюдента для коефіцієнта в цій залежності дорівнює 10,79, а для константи – 0,60. Табличне значення

критерію Стюдента – 1,325, що свідчить про достатню значущість показника номінальної місткості як фактора. Інформаційна здатність моделі висока, оскільки значення критерію Фішера становить 116,56, що перевищує його табличне значення – 1,39. Коефіцієнт множинної кореляції становить 0,81. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною високий. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,65, показує, що цей фактор впливає на значення часу простою. Отже, його доцільно використовувати в дослідженнях надалі. Із графіка зрозуміло, що значення номінальної місткості позитивно впливає на зміну часу простою транспортного засобу на зупинкових пунктах.

Розглянуто залежність зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту від коефіцієнта використання місткості автобуса, графічне зображення експериментальних точок залежності подано на рисунку 4.2.

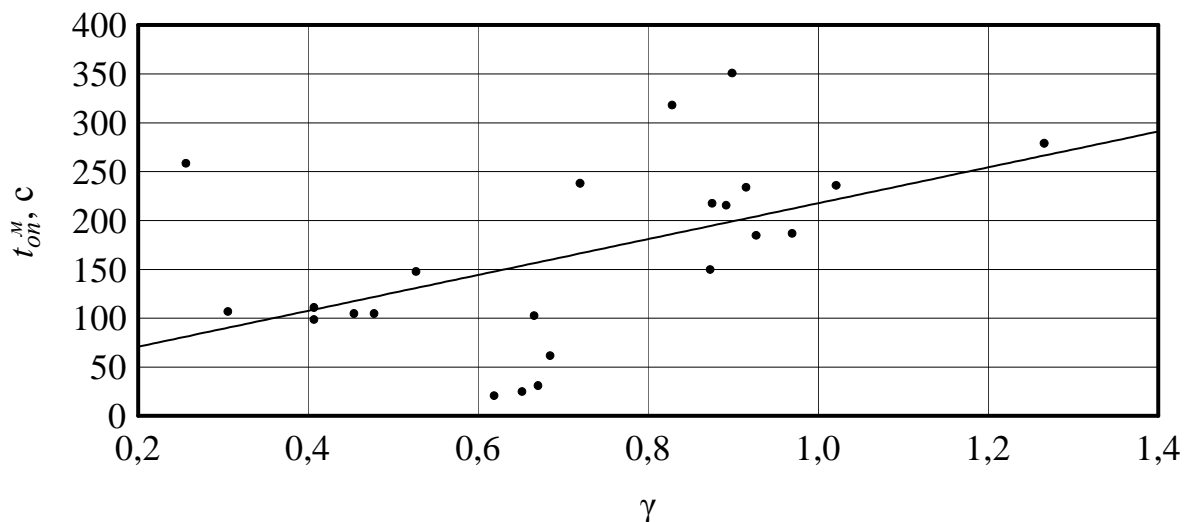


Рисунок 4.2 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах залежно від коефіцієнта використання місткості автобуса

Залежність може бути подана такою формулою:

$$t_{zn}^M = 34,09 + 183,59\gamma, \quad (4.2)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт використання місткості автобуса.

Фактор коефіцієнта заповнення салону автобуса у поданій моделі достатньо значущий, оскільки розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 2,63, для коефіцієнта – 0,65, а табличне значення критерію Стюдента становить 1,325.

Наведена залежність має достатню інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 6,92, що перевищує його табличне значення – 1,84. Між досліджуваними параметрами ступінь щільності зв'язку достатній, про що свідчить коефіцієнт множинної кореляції, який дорівнює 0,50. Значення коефіцієнта детермінації, який дорівнює 0,25, показує, що на цей фактор істотно впливають інші параметри, не враховані в моделі. Зазначені показники моделі свідчать про те, що вона може бути використана в подальших дослідженнях надані. Аналіз отриманої моделі засвідчив, що зі збільшенням коефіцієнта використання місткості автобуса збільшується час його простою. Це пояснюється збільшенням можливого пасажирообміну.

Далі проаналізовано залежність зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від коефіцієнта змінюваності пасажирів, графічне зображення експериментальних точок якої наведено на рисунку 4.3.

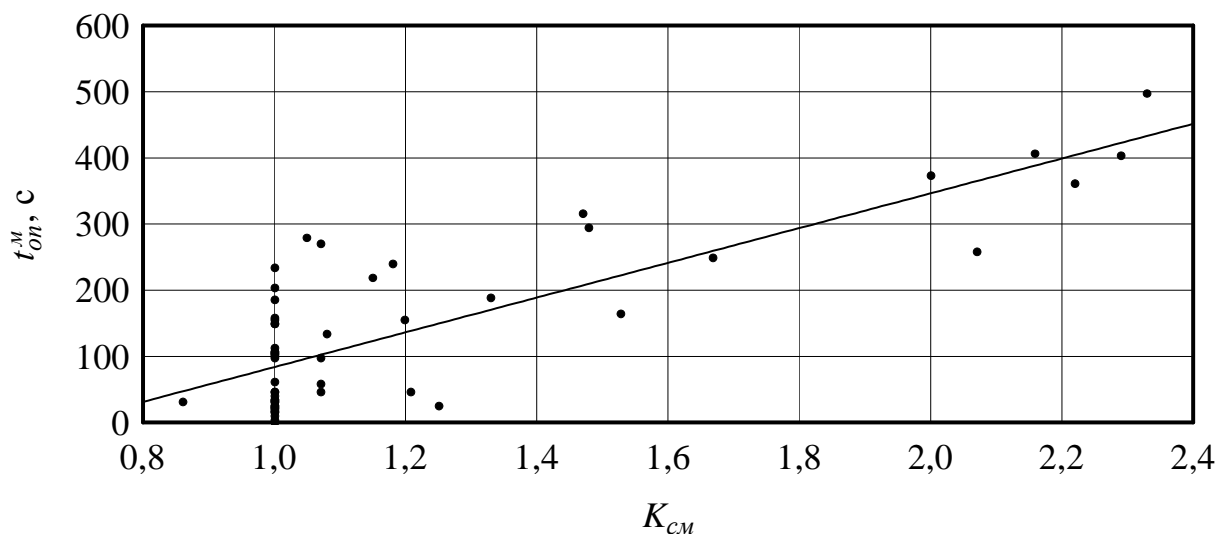


Рисунок 4.3 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від коефіцієнта змінюваності пасажирів

Ця залежність подана такою формулою:

$$t_{zn}^M = -179,13 + 262,8K_{zm}, \quad (4.3)$$

де  $K_{cm}$  – коефіцієнт змінюваності пасажирів.

Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,325, розрахункове значення для константи дорівнює 5,45, а для коефіцієнта – 10,01, що свідчить про його достатню значимість. Модель має також високу інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера, яке дорівнює 100,16, значно перевищує його табличне значення – 1,52. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,81. Отже, між залежною і незалежною змінною високий ступінь щільності зв'язку. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,65, свідчить про те, що цей параметр достатньо впливає на значення часу простою як фактор. Зазначені показники моделі дозволяють, що вона може бути використана під час практичних розрахунків. Коефіцієнт змінюваності визначає середню кількість пасажирів, що проїхали на одному пасажиромісці. Що більше його значення, то більший пасажирообіг зупинкових пунктів.

Отже, можна стверджувати, що цей фактор визначає час простою. Графічне зображення експериментальних точок залежності зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту від кількості зупинкових пунктів наведено на рисунку 4.4.

Залежність представити такою формулою:

$$t_{zn}^M = 63,14 + 14,07n_{zn}^M, \quad (4.4)$$

де  $n_{on}^M$  – кількість зупинкових пунктів на маршруті, од.

З отриманих результатів розрахунку зрозуміло, що розрахункові значення критерію Стюдента в цій залежності як для константи, так і для коефіцієнта, які відповідно дорівнюють 10,86 і 4,67, перевищують його табличне значення, яке дорівнює 1,325, що, зі свого боку, визначає його значущість як фактору. Також модель має високу інформаційну здатність, про що свідчить значення критерію Фішера, яке становить 118,01, це значення більше за табличне – 1,39. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,82, тобто ступінь щільності зв'язку між досліджуваними параметрами відносно висока.

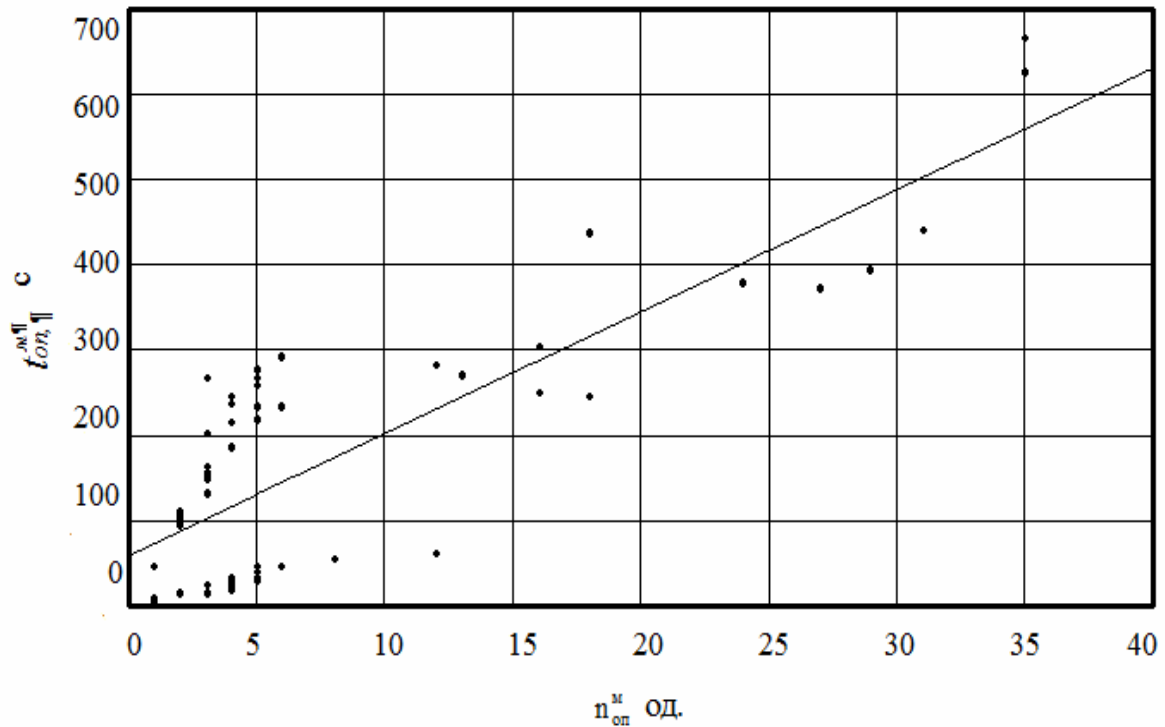


Рисунок 4.4 – Графік змінювання часу простою на зупинкових пунктах маршруту залежно від кількості зупинкових пунктів на маршруті

Наведений фактор за значенням коефіцієнта детермінації, який дорівнює 0,67, доводить, що він достатньо впливає на модель часу простою. Зі збільшенням кількості зупинкових пунктів на маршруті збільшується час простою на них. Графічне зображення експериментальних точок зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах залежно від його довжини наведено на рисунку 4.5.

Ця залежність може бути подана такою формулою:

$$t_{zn}^m = -56,12 + 37,93L_a, \quad (4.5)$$

де  $L_a$  – довжина автобуса, м.

В отриманій моделі розрахункове значення критерію Стюдента для коефіцієнта – 7,05, для константи – 1,28. Табличне значення цього критерію становить 1,296. Цей результат свідчить про значущість довжини автобуса як фактора. Під час розрахунку моделі визначалася її інформаційна здатність. В отриманій моделі розрахункове значення критерію Стюдента для коефіцієнта – 7,05, для константи – 1,28. При цьому табличне значення цього критерію становить 1,296.



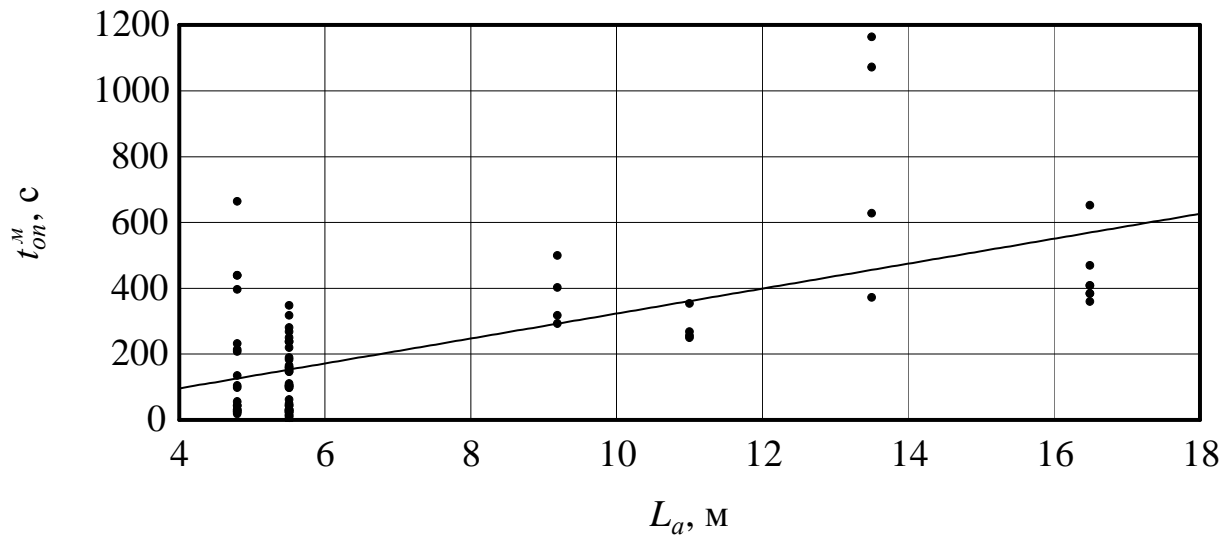


Рисунок 4.5 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах залежно від його довжини

Цей результат свідчить про значущість довжини автобуса як фактора.

Під час розрахунку моделі визначалася її інформаційна здатність. Як наслідок, розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 49,73, а його табличне значення – 1,39. Отже, модель має достатню інформаційну здатність. За коефіцієнтом множинної кореляції моделі, який дорівнює 0,63, було визначено, що між заданими параметрами ступінь щільності зв'язку значний.

Отримана модель доводить таке: що довший автобус, то більший час його простою на зупинкових пунктах. Це відбувається внаслідок кореляції між довжиною і номінальною місткістю автобуса.

Графічне зображення експериментальних точок зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від пасажиропотоку на перегонах маршруту наведено на рисунку 4.6.

Модель визначається за такою формулою:

$$t_{zn}^M = 23,27 + 9,31F_n, \quad (4.6)$$

де  $F_n$  – пасажиропотік на перегонах маршруту, пас.

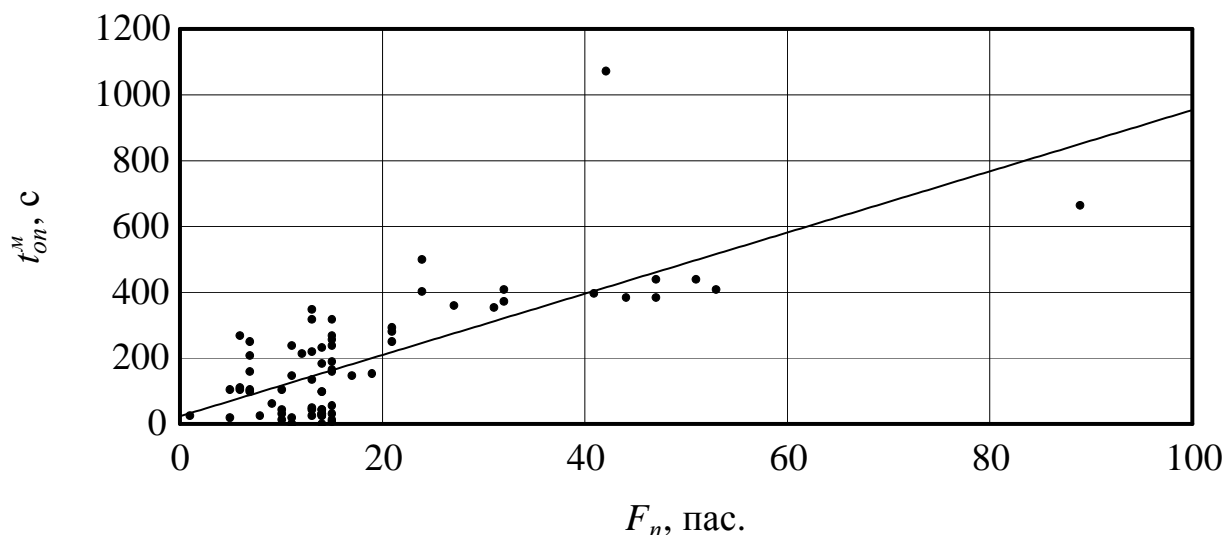


Рисунок 4.6 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від пасажиропотоку на перегонах маршруту

Під час розрахунку цієї моделі було визначено, що розрахункове значення критерію Стюдента для коефіцієнта – 8,68, для константи – 0,95. Табличне значення цього критерію становить 1,296. Це означає, що цей фактор є також значущим.

За значенням критерію Фішера, який становить 75,27, була оцінена інформаційна здатність моделі. Табличне значення цього критерію дорівнює 1,39. Коефіцієнт множинної кореляції цієї залежності – 0,72. Це означає, що ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною високий. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,52, доводить, що на значення часу простою цей показник впливає менше, ніж фактори, не враховані в моделі. Середнє значення пасажиропотоку на перегоні маршруту опосередковано впливає на досліджувану змінну. Зі збільшенням значення цього фактора збільшується і пасажирообмін зупинкового пункту, що призводить до збільшення часу простою на ньому.

Графічне зображення експериментальних точок зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від кількості дверей в транспортному засобі подано на рисунку 4.7.

Залежність подана такою формулою:

$$t_{zn}^M = 14,03 + 133,08n_{дв}, \quad (4.7)$$

де  $n_{дв}$  – кількість дверей автомобіля, од.

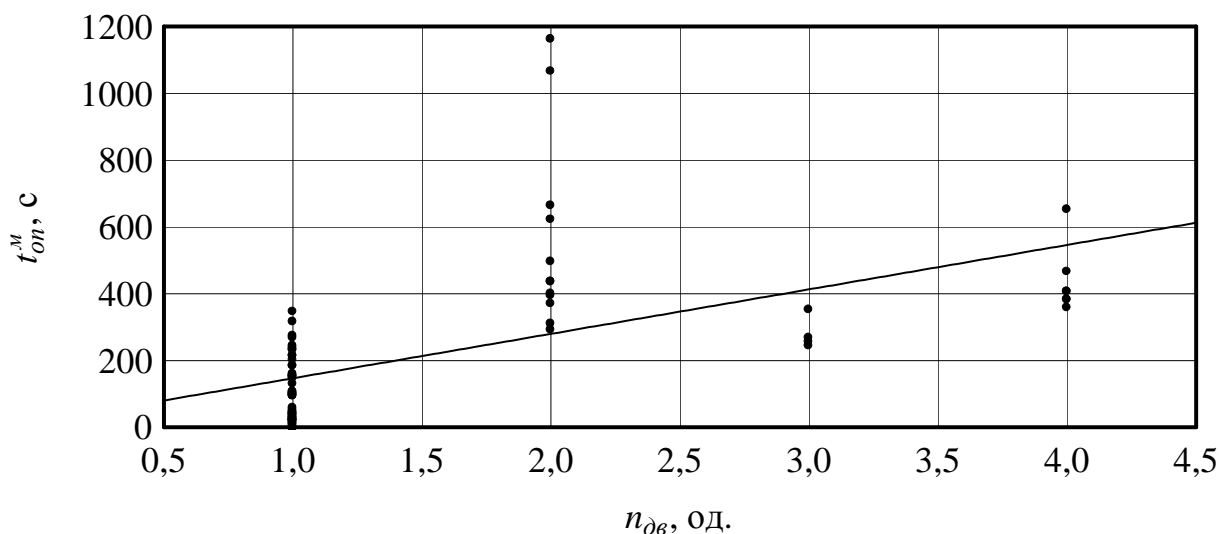


Рисунок 4.7 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від кількості дверей

За розрахунковим значенням критерію Стюдента для константи 0,35 і для коефіцієнта 5,95, було визначено, що цей фактор є значущим. Табличне значення цього критерію дорівнює 1,296. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 35,38, табличне значення – 1,39.

Про недостатній вплив фактора кількості дверей автобуса на час простою транспортного засобу і ступінь зв'язку між досліджуваними параметрами свідчать коефіцієнт детермінації і значення коефіцієнта множинної кореляції, які дорівнюють 0,32 і 0,57 відповідно.

Без урахування отриманих результатів, ця залежність доводить таке: що більше дверей в транспортному засобі, то більше потрібно часу на посадку (висадку) пасажирів. Час простою визначається номінальною місткістю транспортного засобу, яка пов'язана з його габаритами, що визначає кількість дверей.

Графічне зображення експериментальних точок, зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від об'єму перевезених пасажирів наведено на рисунку 4.8.

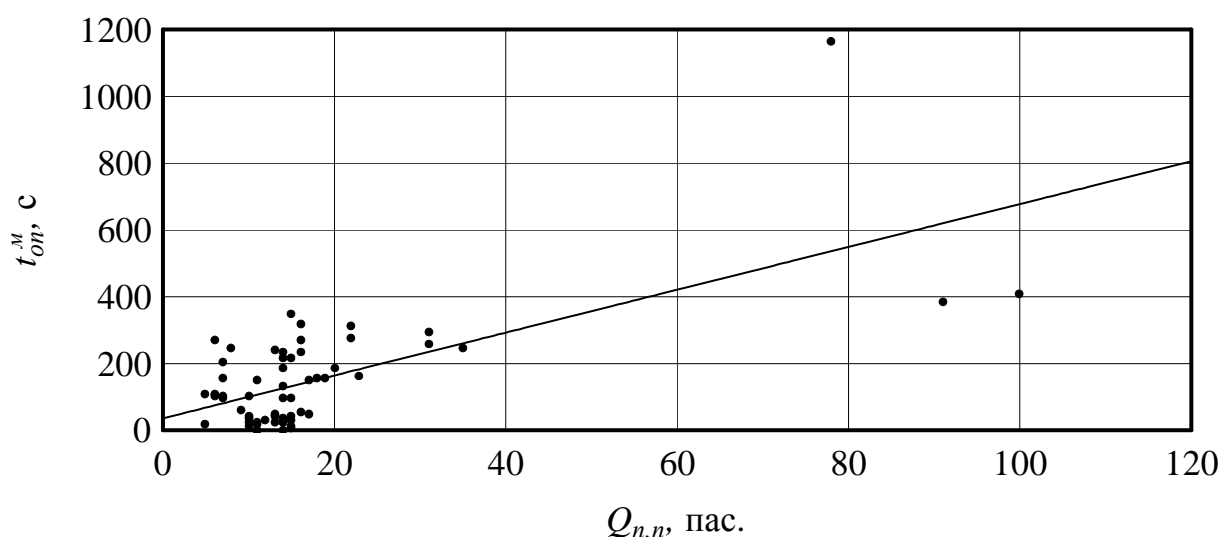


Рисунок 4.8 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від обсягу перевезених пасажирів

Ця залежність може бути представлена такою формулою:

$$t_{zn}^M = 36,18 + 6,41Q_{n.n}, \quad (4.8)$$

де  $Q_{n.n}$  – об'єм перевезених пасажирів за рейс одного автобуса, пас.

У цій моделі розрахункове значення критерію Стюдента для константи становить 1,53, а для коефіцієнта – 6,73. Подібно до попередніх описів, отримані значення дорівнювали з табличним, яке дорівнює 1,296, і дійшли висновку, що кількість перевезених пасажирів як фактор також є значущим.

Модель має високу інформаційну здатність, про що свідчить розрахункове значення критерію Фішера, яке дорівнює 45,35, тоді як табличне значення дорівнює 1,39. Щільність зв'язку, отриманої залежності достатня оскільки значення коефіцієнта множинної кореляції дорівнює 0,66. Значення коефіцієнта детермінації, який дорівнює 0,43, показує, що, порівняно з іншими факторами, на значення часу простою цей показник впливає менше.

Графічне зображення експериментальних точок, змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від кількості місць для сидіння подано на рисунку 4.9.

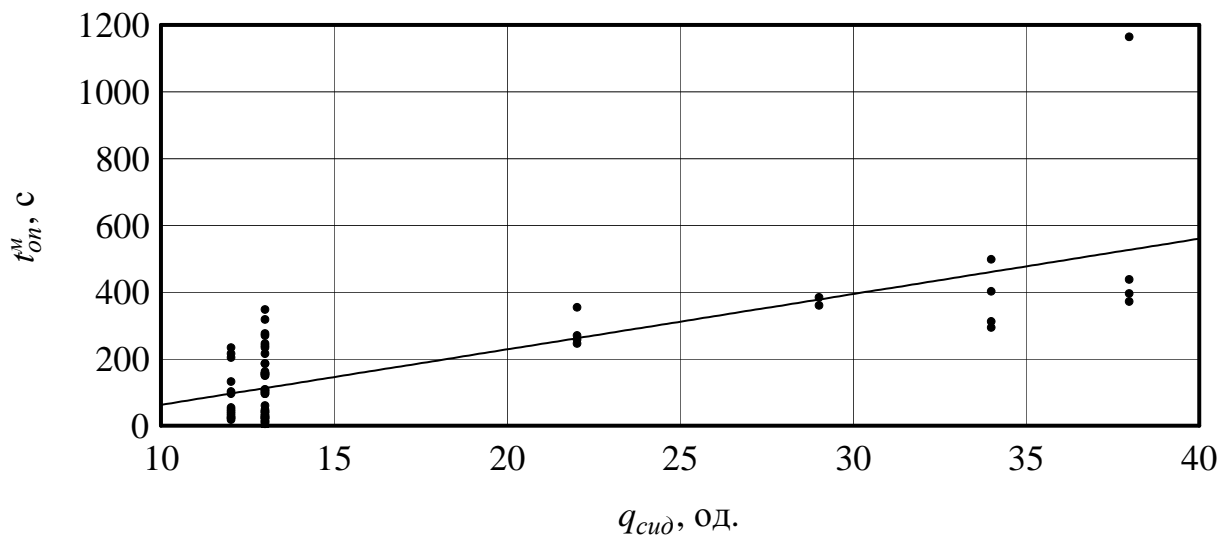


Рисунок 4.9 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від кількості місць для сидіння

Використовується така формула:

$$t_{zn}^M = -102,53 + 16,575q_{cud}, \quad (4.9)$$

де  $q_{cud}$  – кількість місць для сидіння, од.

Розрахункове значення критерію Стюдента для коефіцієнта – 8,90, для константи – 2,99, тоді як його табличне значення – 1,296, що свідчить про значущість цього фактора.

Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера становить 79,26, що перевищує його табличне значення, яке дорівнює 1,39. Внаслідок розрахунку наведеної залежності був визначений коефіцієнт множинної кореляції, який становить 0,74. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною високий. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,55, визначає істотний вплив цього фактора на незалежну змінну.

Аналіз моделі дає змогу зробити висновок, що зі збільшенням кількості місць для сидіння у салоні автобуса збільшується і час простою цього транспортного засобу.

Графічне зображення експериментальних точок зміни часу простою транспортного засобу на зупинкових пунктах залежно від довжини маршруту подано на рисунку 4.10.

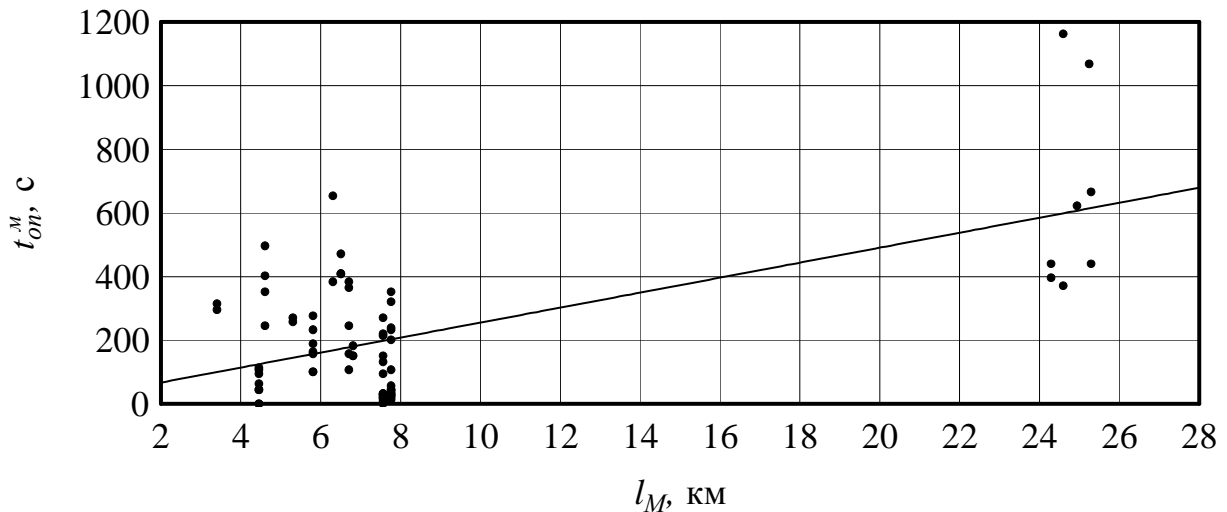


Рисунок 4.10 – Графік змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах залежно від довжини маршруту

Ця залежність може бути подана такою формулою:

$$t_{zn}^M = 20,18 + 23,54l_M, \quad (4.10)$$

де  $l_M$  – довжина маршруту, км.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 0,55, а для коефіцієнта – 6,59. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,296, що свідчить про значущість фактора довжини маршруту.

Модель має високу інформаційну здатність, оскільки розрахункове значення критерію Фішера дорівнює 43,47, а його табличне значення – 1,39. Коефіцієнт множинної кореляції моделі – 0,61. Отже, має місце помітний ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною. Значення коефіцієнта детермінації, яке дорівнює 0,37 доводить, що на значення часу простою цей показник впливає менше, ніж фактори, не враховані в моделі.

Отже, отримана модель відповідно характеризує вплив довжини маршруту на значення часу простою транспортного засобу на зупинкових пунктах. З графіка зрозуміло: що більша довжина маршруту, то більший час простою автобуса. Це пов'язано зі збільшенням кількості зупинкових пунктів.

Отже, отримані результати засвідчили, що для характеристики часу простою транспортних засобів на зупинках потрібно використовувати методи множинної кореляції.

## 4.2 Модель змінювання часу простою транспортних засобів на зупинкових пунктах маршруту

На другому етапі дослідження розроблялася також багатofакторна модель змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту. Для оцінки функційних зв'язків між факторами, які характеризують той бік явища, що вивчається, було розраховано часткові коефіцієнти кореляції. Матриця парних коефіцієнтів кореляції наведена в таблиці 4.1.

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що досліджені фактори не корелюються. Винятком є високий ступінь кореляції між кількістю дверей у транспортному засобі та його номінальною місткістю. Це пояснюється функціональною залежністю параметрів транспортного засобу. Спостерігається також значна кореляція кількості перевезених пасажирів на маршруті і значення пасажиропотоку на максимально завантаженій ділянці мережі. Це пояснюється однотипністю цих параметрів. Отже, під час розроблення моделі зміни часу простою на зупинкових пунктах маршруту доцільно використовувати будь-який фактор із тих, що корелюються.

Результати розрахунків параметрів моделі часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту міського пасажирського транспорту наведені в таблицях 4.2, 4.3 та додатку Г.

Використовується така формула:

$$t_{\text{зн}}^{\text{м}} = 90,26\gamma + 6,48n_{\text{зн}}^{\text{м}} + 1,89q_{\text{н}} + 67,55K_{\text{зм}}. \quad (4.11)$$

Отже, з усіх досліджених факторів значущими виявилися тільки чотири, про що свідчить розрахункове значення критерію Стюдента, яке є більшим, ніж табличне, і відсутність нуля в довірчому інтервалі кожного коефіцієнта моделі.

Після розроблення регресійної моделі проводилося її статистичне оцінювання. Результати розрахунків наведені в таблиці 4.4.

Інформаційна здатність моделі визначається за критерієм Фішера.

Таблиця 4.1 – Матриця парної кореляції факторів, досліджуваних під час визначення закономірностей змінювання часу простою на зупинкових пунктах маршруту

Фактори	Кількість дверей	Кількість зупинок	Кількість пасажирів на перегоні	Довжина маршруту	Номінальна місткість	Кількість місць для сидіння	Довжина автобуса	Коефіцієнт використання місткості	Об'єм перевезень
Кількість дверей	1,00	0,17	-0,21	0,05	-0,84	0,35	-0,46	-0,37	0,42
Кількість зупинок	0,17	1,00	-0,05	-0,81	-0,28	-0,07	0,43	-0,01	-0,11
Кількість пасажирів на перегоні	-0,21	-0,05	1,00	-0,17	0,11	-0,04	0,37	-0,24	-0,83
Довжина маршруту	0,05	-0,81	-0,17	1,00	0,17	-0,21	-0,44	-0,07	0,21
Номінальна місткість	-0,84	-0,28	0,11	0,17	1,00	-0,56	0,08	0,82	-0,45
Кількість місць для сидіння	0,35	-0,07	-0,04	-0,21	-0,56	1,00	-0,25	-0,51	0,25
Довжина автобуса	0,47	0,43	0,37	-0,44	0,08	-0,25	1,00	-0,05	-0,43
Коефіцієнт використання місткості	0,37	-0,01	-0,24	-0,07	0,82	-0,51	-0,05	1,00	-0,1
Об'єм перевезень	0,42	-0,11	-0,83	0,21	-0,45	0,25	-0,43	-0,1	1,00



Таблиця 4.2 – Характеристика моделі змінюваності часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту

Фактори	Позначення, розмірність	Межі вимірювань	Коефіцієнт	Стандартна похибка	Критерій Стюдента	
					розрахунковий	табличний
Коефіцієнт використання місткості	$\gamma$	0,1–1,3	90,26	39,95	2,92	2,42
Кількість зупинкових пунктів маршруту	$n_{оп}^м$ , од.	1–35	6,48	1,48	4,38	2,42
Номінальна місткість автобуса	$q_n$ , пас.	12–162	1,89	0,60	3,13	2,42
Коефіцієнт змінюваності пасажирів	$K_{см}$	1–8,4	67,55	32,66	2,07	2,42

Таблиця 4.3 – Довірчі інтервали коефіцієнтів моделі

Фактори	Нижня межа	Верхня межа
Коефіцієнт використання місткості	9,52	170,99
Кількість зупинкових пунктів маршруту	3,49	9,47
Номінальна місткість автобуса	0,67	3,10
Коефіцієнт змінюваності пасажирів	1,55	133,55

Таблиця 4.4 – Результати оцінювання моделі змінювання часу простою транспортних засобів на зупинкових пунктах

Показники		Значення
Критерій Фішера	табличний	1,52
	розрахунковий	191,70
Коефіцієнт множинної кореляції		0,98
Середня похибка апроксимації, %		11,2

Критерій Фішера може використовуватися для визначення адекватності моделі, але тільки в тому разі, якщо проводяться дослід, що повторюються (спостереження).

У розглянутому випадку повторювані дослід не проводилися, тому за критерієм Фішера визначалася інформаційна здатність моделі. Щільність зв'язку між залежною змінною і факторами, які впливають на її рівень, визначається коефіцієнтом множинної кореляції. Значення цього коефіцієнта свідчить про високий ступінь щільності зв'язку між часом простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту та обраними факторами.

Оцінювання адекватності розробленої моделі проводилося за показником середньої похибки апроксимації. Значення середньої похибки апроксимації відповідає допустимим межах.

На підставі проведених розрахунків був зроблений висновок про допустимість використання отриманої моделі часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту як про функцію різних змінних під час дослідження впливу довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту на параметри перевезення пасажирів. Параметри моделі зміни часу простою автобусів на зупинкових пунктах наведені в додатку Г.

### **4.3 Висновки до розділу**

Однофакторні моделі змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту відображають тенденцію щодо впливу параметрів транспортного засобу та пасажиропотоку.

Змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту достатньою точно характеризується лінійним регресійним рівнянням, у якому як змінними є параметри транспортного засобу та пасажиропотоку.

Отриману модель змінювання часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту можна використовувати під час визначення середньої довжини перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу на пересування пасажирів.

## 5 СЕРЕДНЯ ДОВЖИНА ПЕРЕГОНУ МАРШРУТУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

### 5.1 Цільова функція оптимізації довжини перегону

Цільову функцію визначення довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту можна подавати так:

$$t_n = 2t_{niu}(l_n) + t_{oc}(l_n) + t_{mp}(l_n) \rightarrow \min, \quad (5.1)$$

де  $t_{niu}(l_n)$  – час пішохідного руху від пункту відправлення до зупинкового пункту або від зупинкового пункту до пункту призначення;

$t_{oc}(l_n)$  – час на очікування транспорту на зупинковому пункті;

$t_{mp}(l_n)$  – час руху в транспортному засобі.

Для вирішення поставленого завдання всі складники залежності (5.1) були подані як функції від довжини перегону.

Час пішохідного руху від пункту відправлення до зупинкового пункту або від зупинкового пункту до пункту призначення визначається такі:

$$t_{niu} = (k_{nn} k_{6.3n} / V_{niu}) [1/(3\delta) + l_n/4]. \quad (5.2)$$

Час очікування транспорту на зупинковому пункті визначається за формулою

$$t_{oc} = 0,8I, \quad (5.3)$$

де  $I$  – інтервал руху на маршруті.

Визначається за такою залежністю:

$$I = \frac{t_{об}}{A}, \quad (5.4)$$

де  $t_{об}$  – час обороту;

$A$  – кількість автобусів на маршруті.

Час обороту визначається:

$$t_{об} = t_{зн}^M + t_{пyx} + t_{к}, \quad (5.5)$$

де  $t_{к}$  – час простою на кінцевому зупинковому пункті;

$t_{зн}^M$  – час простою на проміжних зупинкових пунктах маршруту;

$t_{пyx}$  – час руху за маршрутом.

На підставі результатів розрахунків, наведених в розділі 4, час простою на проміжних пунктах розраховується так

$$t_{зн}^M = 90,26\gamma + 6,48n_{зн}^M + 1,89q_n + 67,55K_{зм}, \quad (5.6)$$

де  $n_{зн}^M$  – кількість проміжних зупинкових пунктів на маршруті.

Він визначається за такою формулою:

$$n_{зн}^M = \frac{l_M}{l_n} - 1. \quad (5.7)$$

Час руху за маршрутом визначається за формулою

$$t_{пyx} = \frac{l_M}{V_T}, \quad (5.8)$$

де  $V_T$  – технічна швидкість транспортного засобу на перегоні маршруту.

За результатами розрахунків, що наведені в розділі 3, технічна швидкість розраховується за такою формулою:

$$V_T = 20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c. \quad (5.9)$$

Підставивши вираз (5.9) у (5.8), отримаємо:

$$t_{пyx} = \frac{l_M}{20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c} \quad (5.10)$$

Тоді залежність для визначення часу обороту матиме такий вигляд:

$$t_{об} = (90,26\gamma + 6,48n_{zn}^M + 1,89q_n + 67,55K_{зм}) + \frac{l_M}{20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c} + t_{\kappa}. \quad (5.11)$$

Кількість автобусів на маршруті розраховують за формулою

$$A = \frac{F_{max} t_{об}}{q_n \gamma}. \quad (5.12)$$

Підставивши (5.11) у (5.12), отримаємо залежність для визначення кількості автобусів на маршруті:

$$A = \frac{F_{max}}{q_n \gamma} ((90,26\gamma + 6,48n_{zn}^M + 1,89q_n + 67,55K_{зм}) + (l_M / (20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c)) + t_{\kappa})). \quad (5.13)$$

Підставивши (5.11) у (5.4), отримаємо залежність для розрахунку інтервалу руху на маршруті:

$$I = \frac{1}{A} ((90,26\gamma + 6,48n_{zn}^M + 1,89q_n + 67,55K_{зм}) + (l_M / (20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c)) + t_{\kappa}). \quad (5.14)$$

Отже, вираз для визначення часу очікування буде таким:

$$t_{ож} = \frac{0,8}{A} ((90,26\gamma + 6,48n_{zn}^M + 1,89q_n + 67,55K_{зм}) + (l_M / (20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c)) + t_{\kappa}). \quad (5.15)$$

Час руху в транспортному засобі визначається як складник часу руху в транспортному засобі та часу простою на зупинкових пунктах:

$$t_{mp} = \frac{l_{cep}}{V_T} + t_{zn}^{cep}, \quad (5.16)$$

де  $l_{сер}$  – середня відстань поїздки пасажирів;

$t_{зн}^{сер}$  – час простою на проміжних зупинкових пунктах під час пересування на середню відстань поїздки пасажирів.

Час простою на проміжних зупинкових пунктах під час пересування на середню відстань поїздки пасажирів визначається за допомогою моделі (4.11), яка містить такі складники:

$$t_{зн}^{сер} = 90,26\gamma + 6,48n_{зн}^{сер} + 1,89q_n + 67,55K_{зм}, \quad (5.17)$$

де  $n_{зн}^{сер}$  – кількість зупинкових пунктів, що проїжджають пасажирів за поїздки на середню відстань перевезення пасажирів.

Вона визначається так:

$$n_{зн}^{сер} = \frac{l_{сер}}{l_n} - 1. \quad (5.18)$$

Підставивши формулу (5.9) для розрахунку технічної швидкості в (5.16), отримаємо:

$$t_{mp} = \frac{l_{сер}}{20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c} + t_{зн}^{сер}. \quad (5.19)$$

Отже, підставивши (5.17) і (5.19) у (5.16), отримаємо такий вираз для визначення часу руху в транспортному засобі:

$$t_{mp} = \frac{l_{сер}}{20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{II} + 0,38U + 12,91K_c} + \\ + (90,26\gamma + 6,48n_{зн}^{сер} + 1,89q_n + 67,55K_{зм}). \quad (5.20)$$

Підставивши (5.2), (5.3) та (5.19) у (5.1), отримаємо кінцевий вираз для цільової функції визначення довжини перегону маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту:

$$t_n = \left( \frac{k_{nn} k_{6.3n}}{V_{niu}} \right) \left( \frac{1}{3\delta} + \frac{l_n}{4} \right) + \frac{0,8}{A} ((90,26\gamma + 6,48n_{3n}^M + 1,89q_n + 67,55K_{3M})) +$$

$$+ (l_M / (20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{\Pi} + 0,38U + 12,91K_{3M})) + t_K) +$$
(5.21)

$$+ \frac{l_{cep}}{20,83l_n - 7,43\gamma + 0,18V_{\Pi} + 0,38U + 12,91K_{3M}} +$$

$$+ (90,26\gamma + 6,48n_{3n}^{cep} + 1,89q_n + 67,55K_{3M}) \rightarrow \min;$$

$$\delta, l_n, \gamma, n_{3n}^M, q_n, K_{3M}, l_M,$$

$$V_{\Pi}, U, K_c, l_{cep}, F_{max}, A \in \Omega;$$

$$\Omega: n_{3n}^{cep} = l_{cep}/l_n - 1; K_{3M} = l_M/l_{cep}; A > 0; 1,5 \leq \delta \leq 2,23 \text{ км/км}^2; 0,1 \leq l_n \leq 2 \text{ км};$$

$$0,1 \leq \gamma \leq 1,3; 1 \leq n_{on}^M \leq 35 \text{ од.}; 12 \leq q_n \leq 162 \text{ пас.}; 1 \leq K_{сm} \leq 8,4;$$

$$5 \leq l_M \leq 25 \text{ км}; 19 \leq V_{\Pi} \leq 60 \text{ км/год}; 9,42 \leq U \leq 32,6 \text{ кВт/т}; 0,2 \leq K_c \leq$$

$$\leq 0,75; 1 \leq l_{cp} \leq 20 \text{ км}; 100 \leq F_{max} \leq 4000 \text{ пас/год}.$$

Обравши поєднання параметрів, що забезпечують реалізацію цільової функції (5.21), можна визначити довжину перегонів, за якою витрати часу пасажирів на пересування будуть мінімальними.

## 5.2 Закономірності змінювання середньої довжини перегону

Використавши залежність (5.21), можна визначити довжину перегону, яка забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів під час пересування.

Спочатку було аналізовано змінювання часу пересування залежно від факторів, які характеризують маршрут міського пасажирського транспорту.

Як такі фактори були розглянуті:

– коефіцієнт використання місткості автобуса;



- значення пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту;
- питома потужність двигуна автобуса;
- номінальна місткість транспортного засобу;
- коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою;
- щільність транспортної мережі;
- швидкість транспортного потоку;
- довжина маршруту;
- середня відстань поїздки.

За допомогою залежностей (5.2, 5.15, 5.20) було розраховано витрати часу пасажирів на пересування при різних значеннях довжини перегону.

Як вихідні дані використовувалися значення наведених вище параметрів маршрутів, діапазон змінювання яких подано в таблиці 5.1.

Результати розрахунків наведено на рисунку 5.1 – 5.18.

Спочатку було проаналізовано, як змінюються витрати часу пасажирів під час пересування залежно від довжини перегону, графічно ці зміни зображені на рисунку 5.1.

Це графічне зображення побудоване на підставі середньозважених величин досліджених факторів представлено в таблиці 5.1. На наведеному рисунку мінімальний загальний час пересування становить 34,97 хв при середній довжині перегону 0,5 км.

Визначити, який параметр визначає ці значення, досить складно, тому було проведено поетапне варіювання всіх складників витрат часу на пересування з метою виявлення закономірностей впливу кожного з них.

На рисунках 5.1, 5.2, 5.3 подано графіки змінювання загального часу пересування й довжини перегону при різних значеннях коефіцієнта використання місткості транспортних засобів ( $\gamma$ ). Заданий параметр приймався рівним своєму мінімальному, середньому й максимальному значенню. При  $\gamma = 0,1$  загальні витрати часу на пересування становили 31,19 хв, а довжина перегону – 0,4 км. При максимальних значеннях довжина перегону істотно збільшується (рис. 5.3). Вона становить 0,7 км.

Таблиця 5.1 – Діапазон варіювання досліджених параметрів

Найменування параметра	Одиниці вимірювання	Мінімальне значення	Середньозважене значення	Максимальне значення
Коефіцієнт використання місткості автобуса	$\gamma$	0,1	0,7	1,3
Значення пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту	$F_{max}$ , пас./год	100	1500	4000
Питома потужність двигуна автобуса	$U$ , кВт/т	9,42	18,2	32,6
Номінальна місткість транспортного засобу	$q_n$ , пас.	12	86	162
Коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою	$K_c$	0,2	0,5	0,75
Щільність транспортної мережі	$\delta$ , км/км <sup>2</sup>	1,4	1,95	2,5
Швидкість транспортного потоку	$V_{II}$ , км/год	19	38	60
Довжина маршруту	$l_M$ , км	5	15	25
Середня відстань поїздки	$l_{cp}$ , км	1	5	20

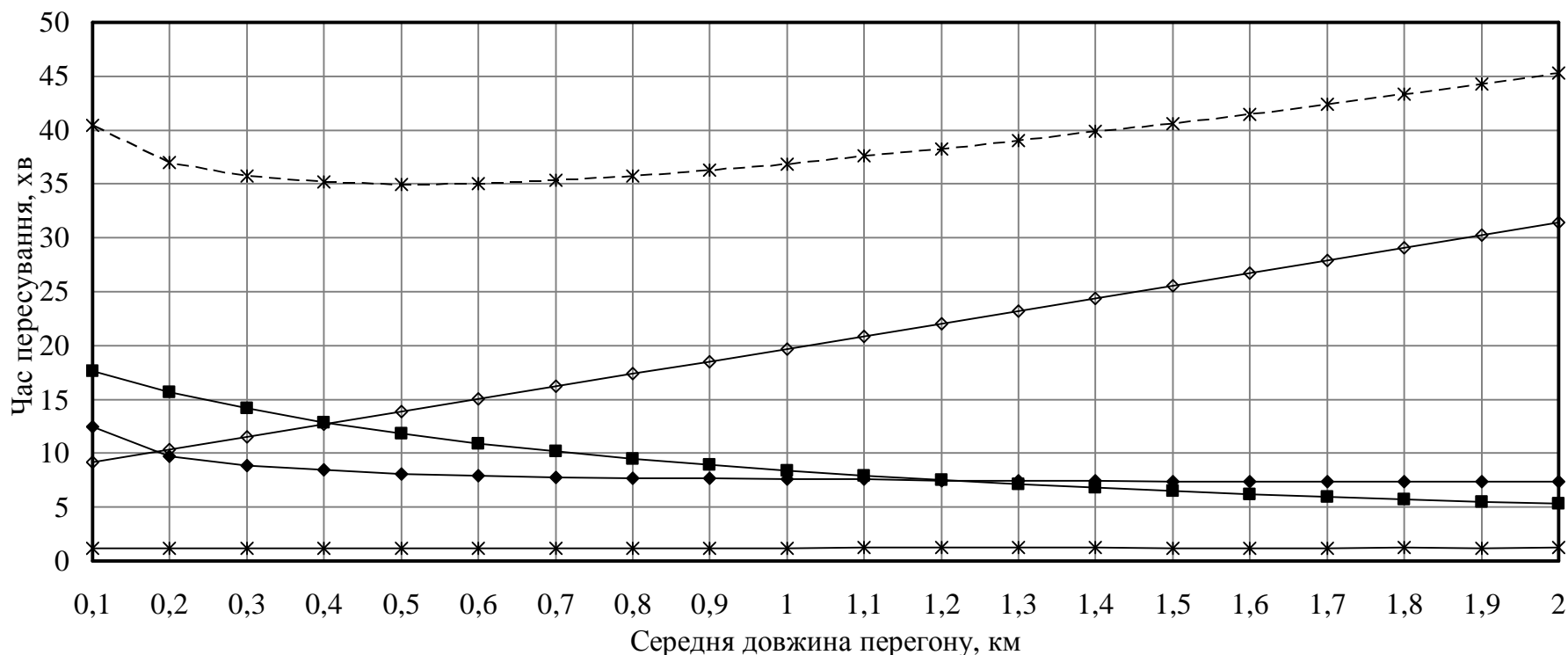


Рисунок 5.1 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,5 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

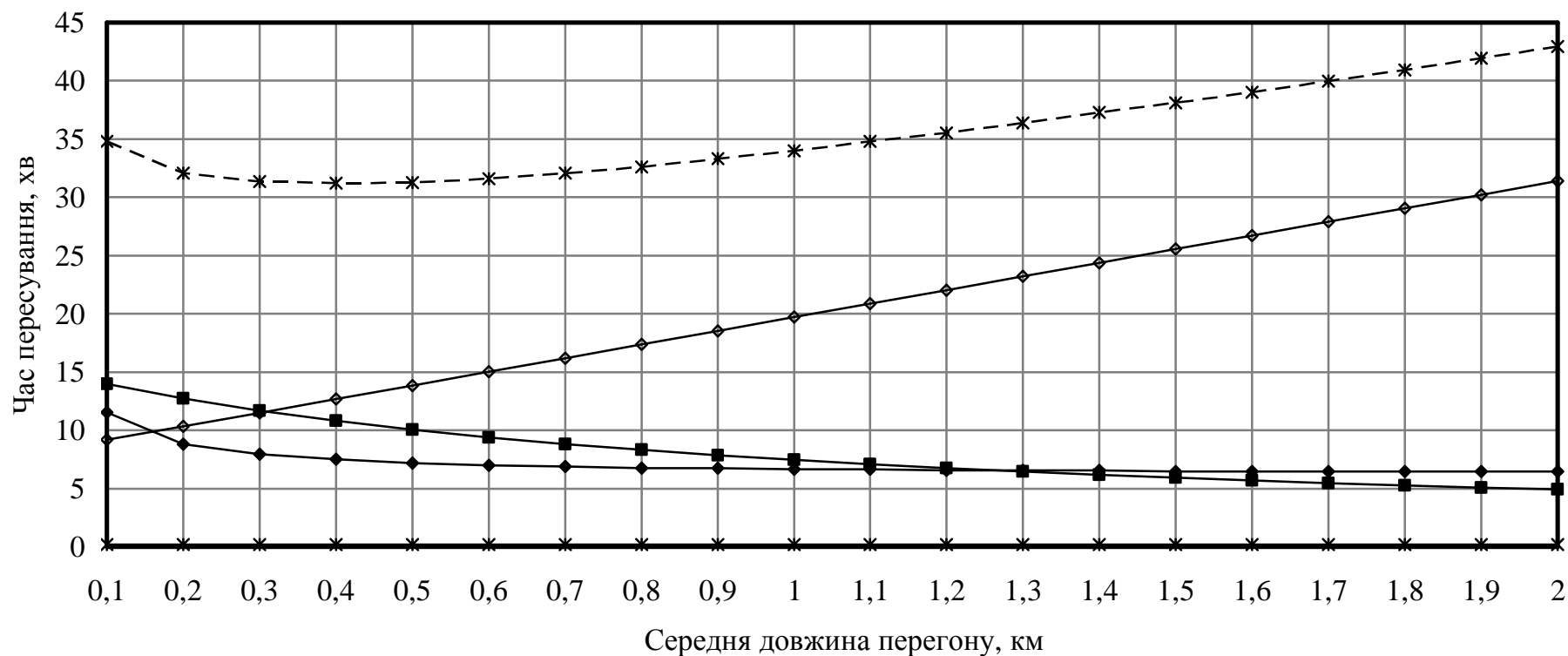


Рисунок 5.2 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,1$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{\Pi} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,4 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простоя транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

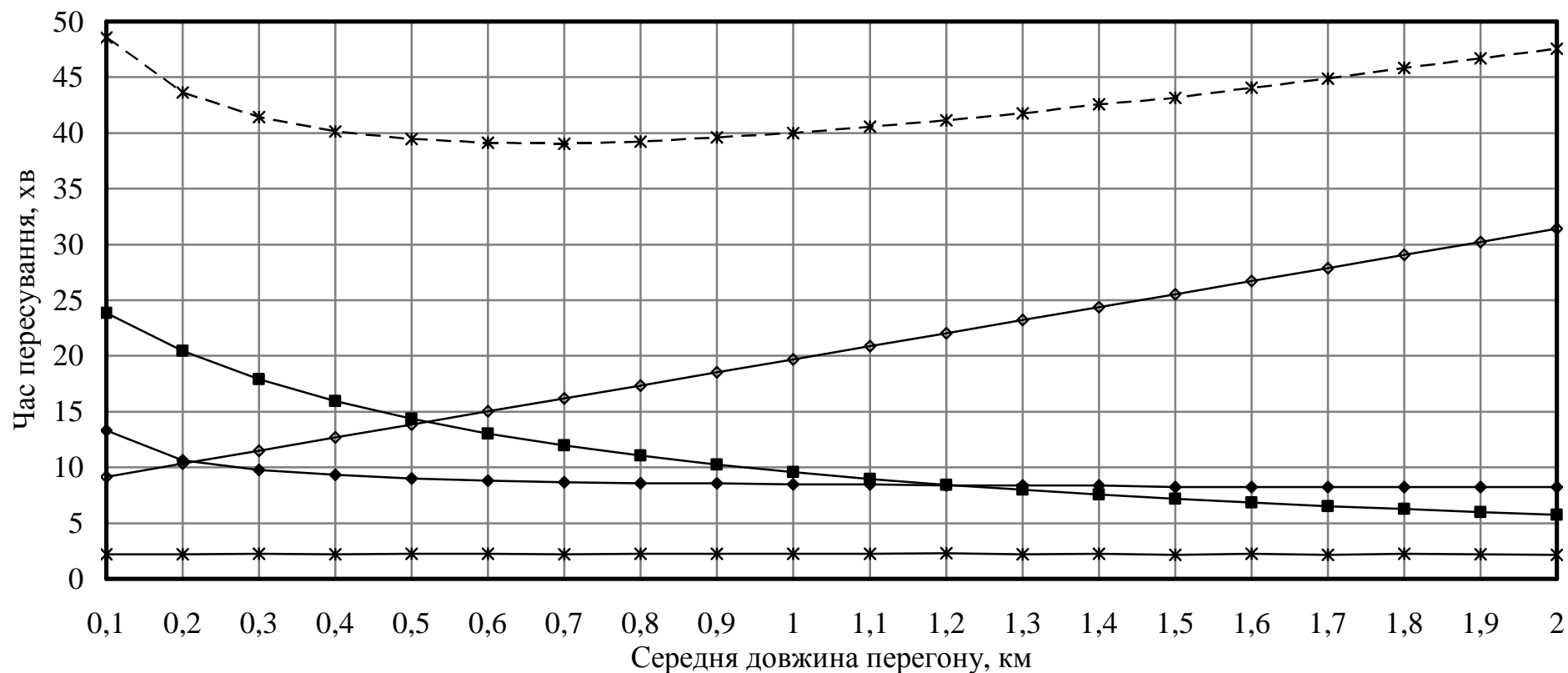


Рисунок 5.3 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 1,3$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Раціональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна – 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,7 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

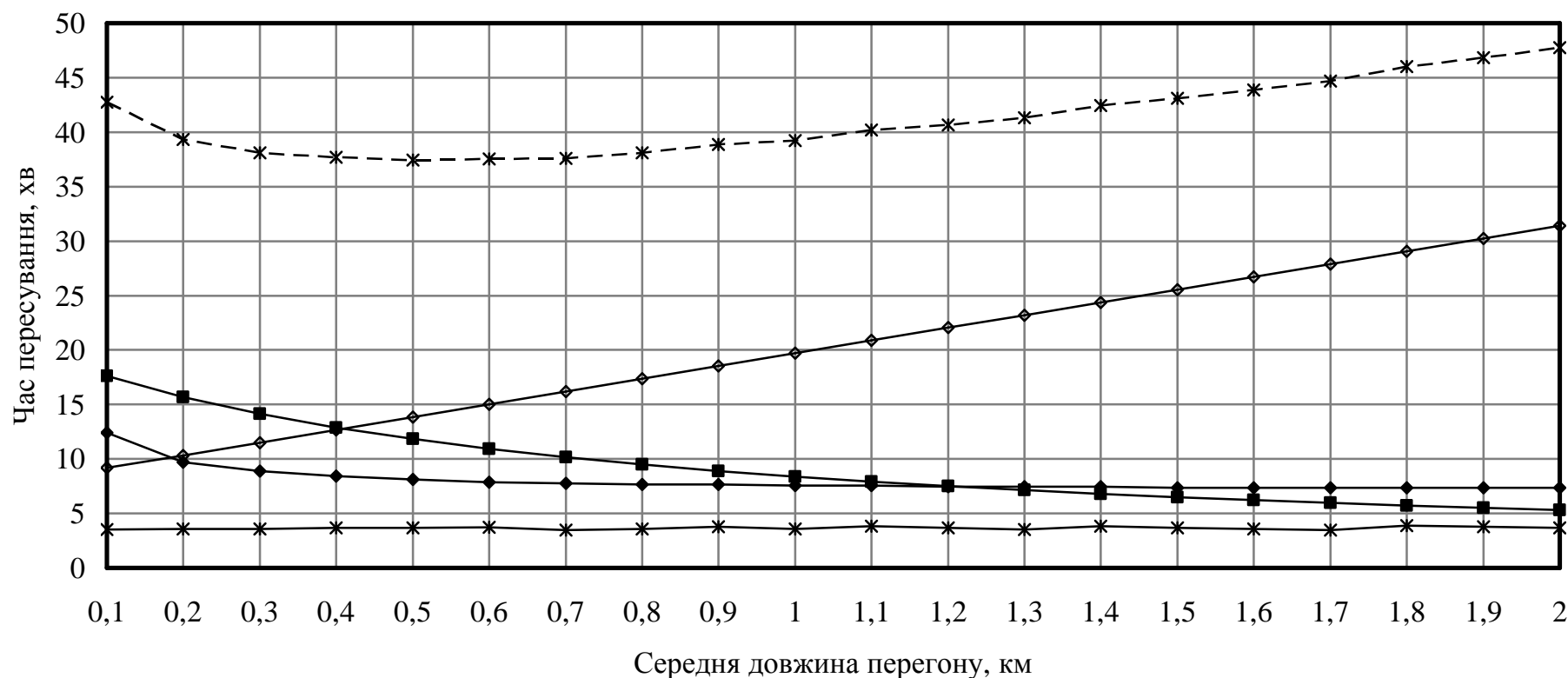


Рисунок 5.4 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,5 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

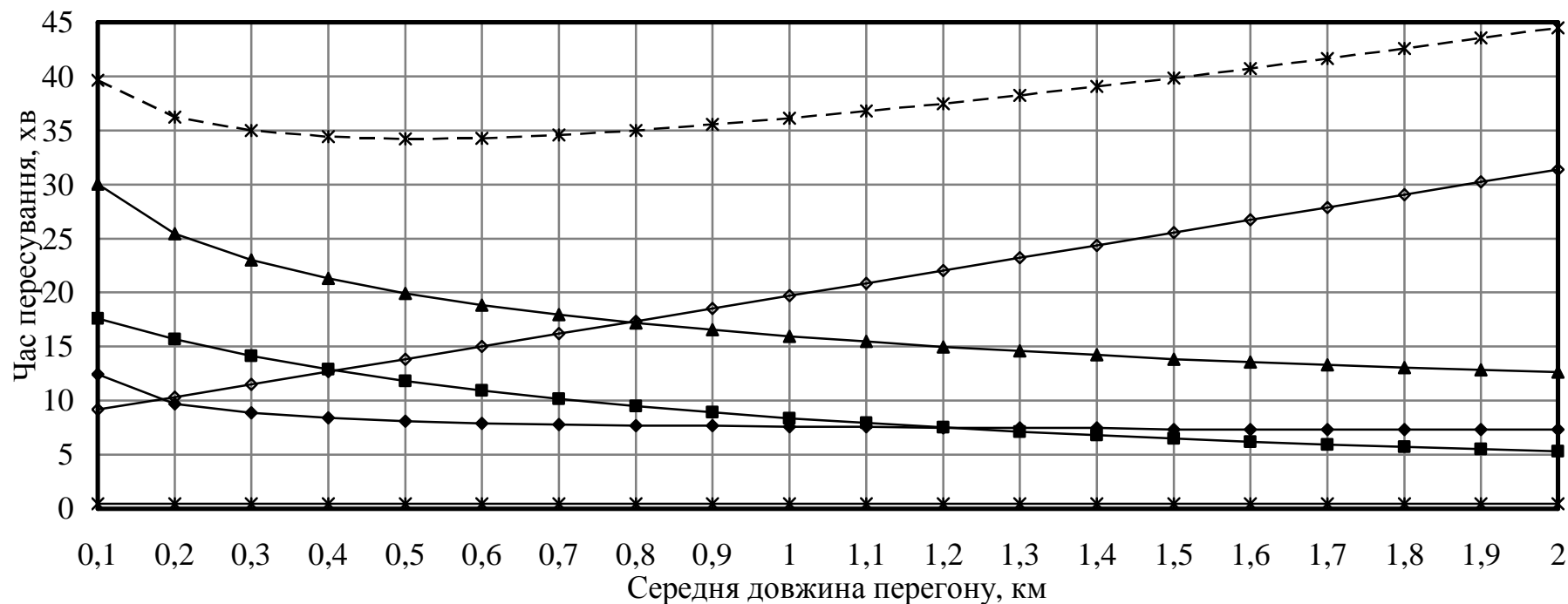


Рисунок 5.5 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 4000$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,5 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простоя транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

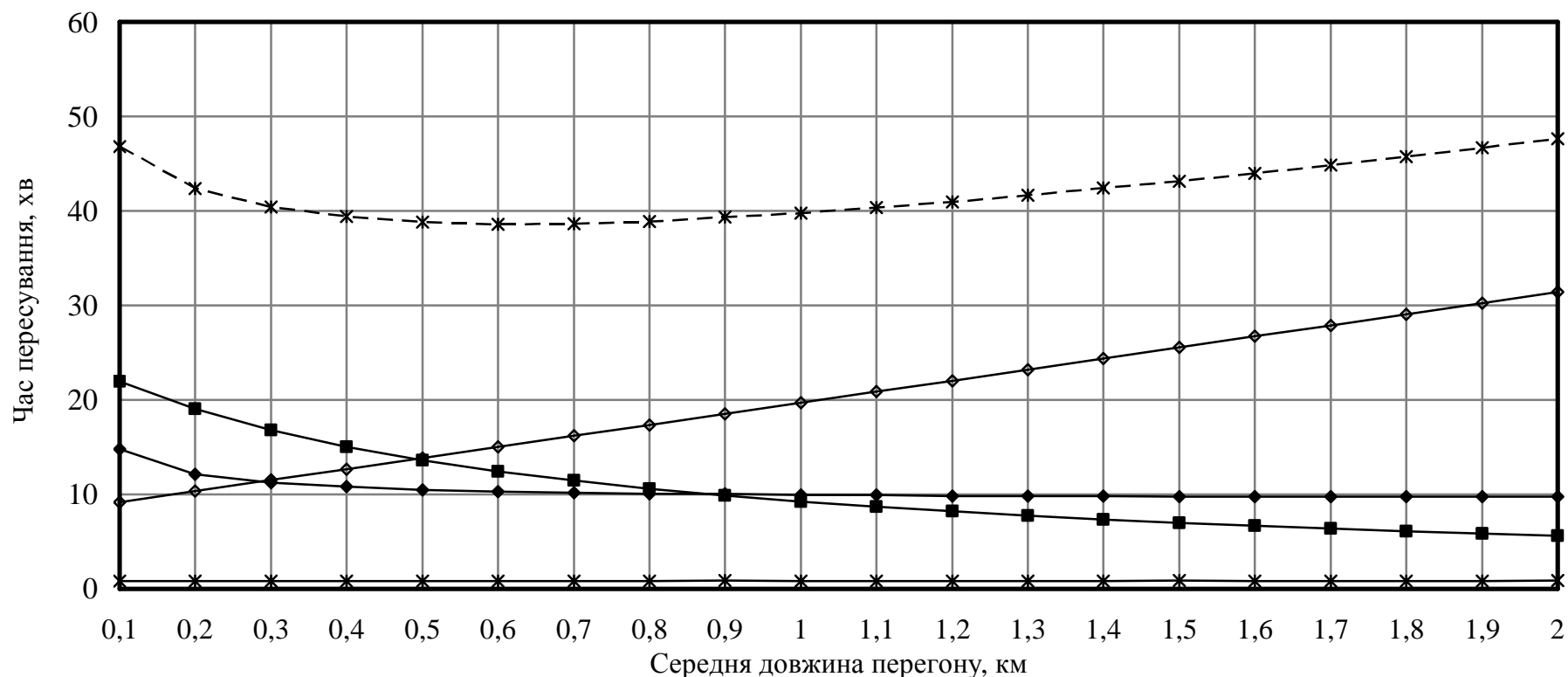


Рисунок 5.6 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 9,42$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 162$  пас.;  $F_{max} = 4000$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,6 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.



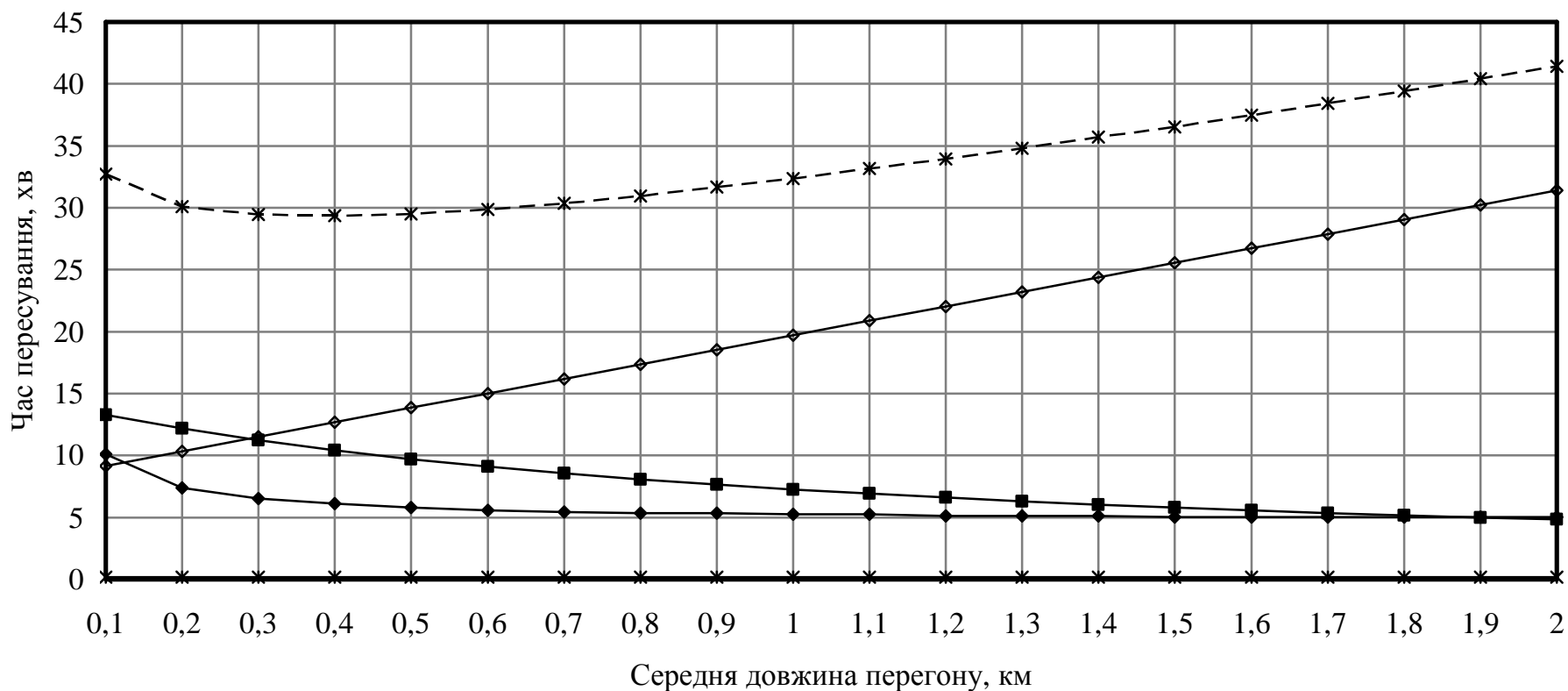


Рисунок 5.7 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 32,6$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 12$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Раціональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,4 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

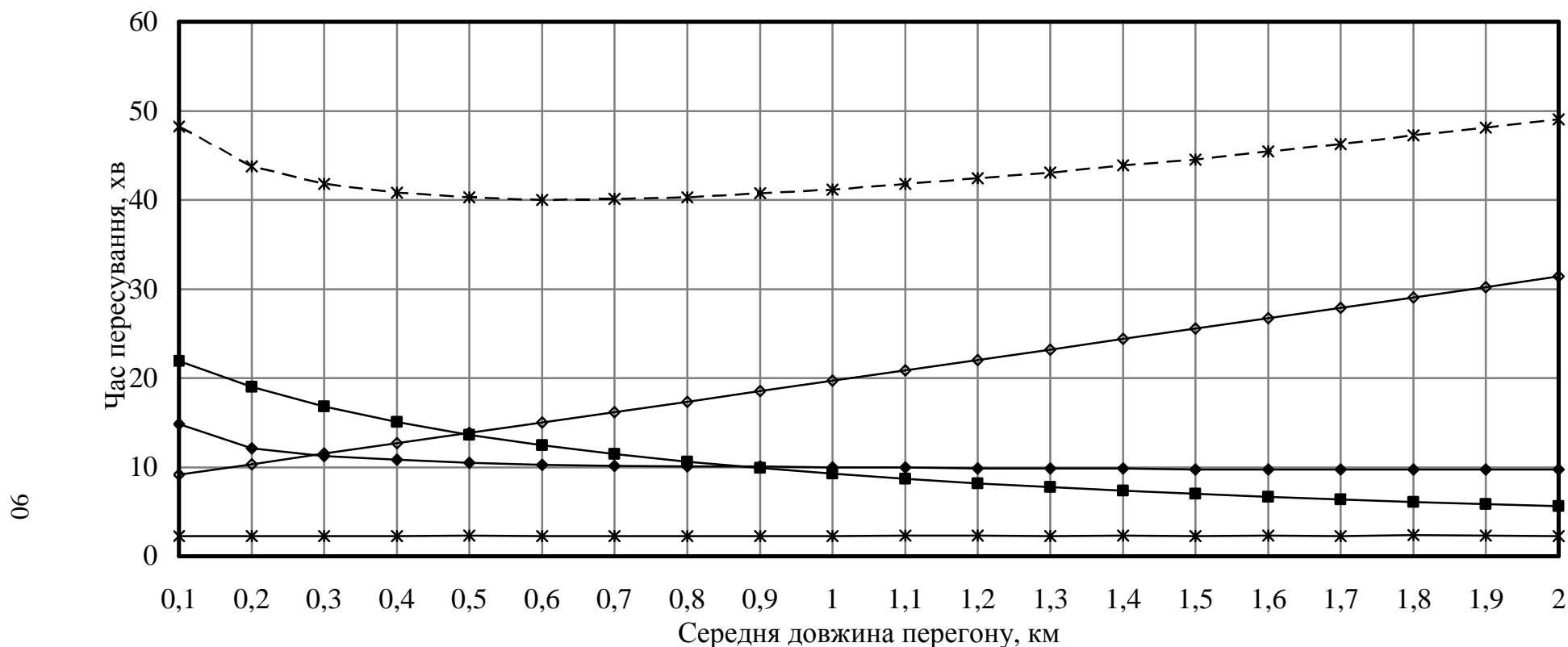


Рисунок 5.8 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 9,42$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 162$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,6 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

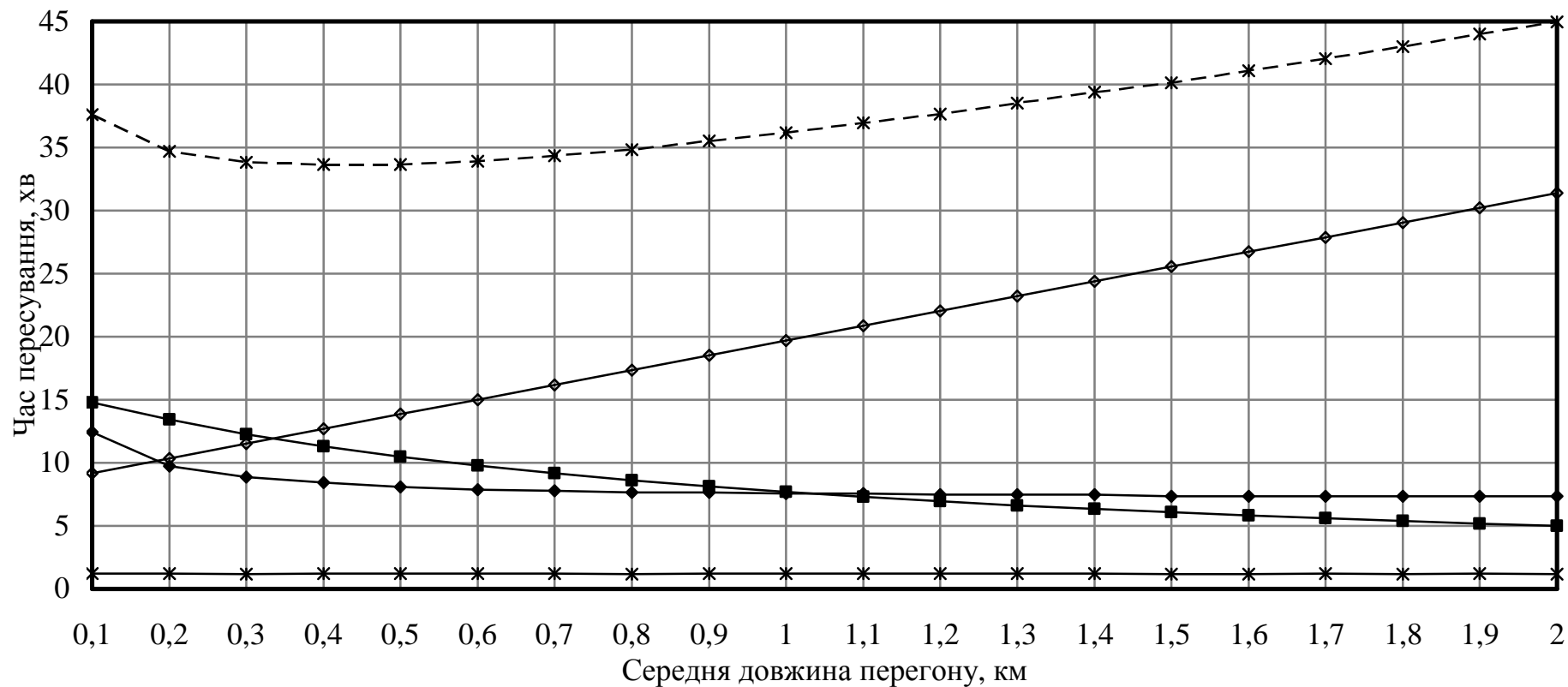


Рисунок 5.9 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,75$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,4 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

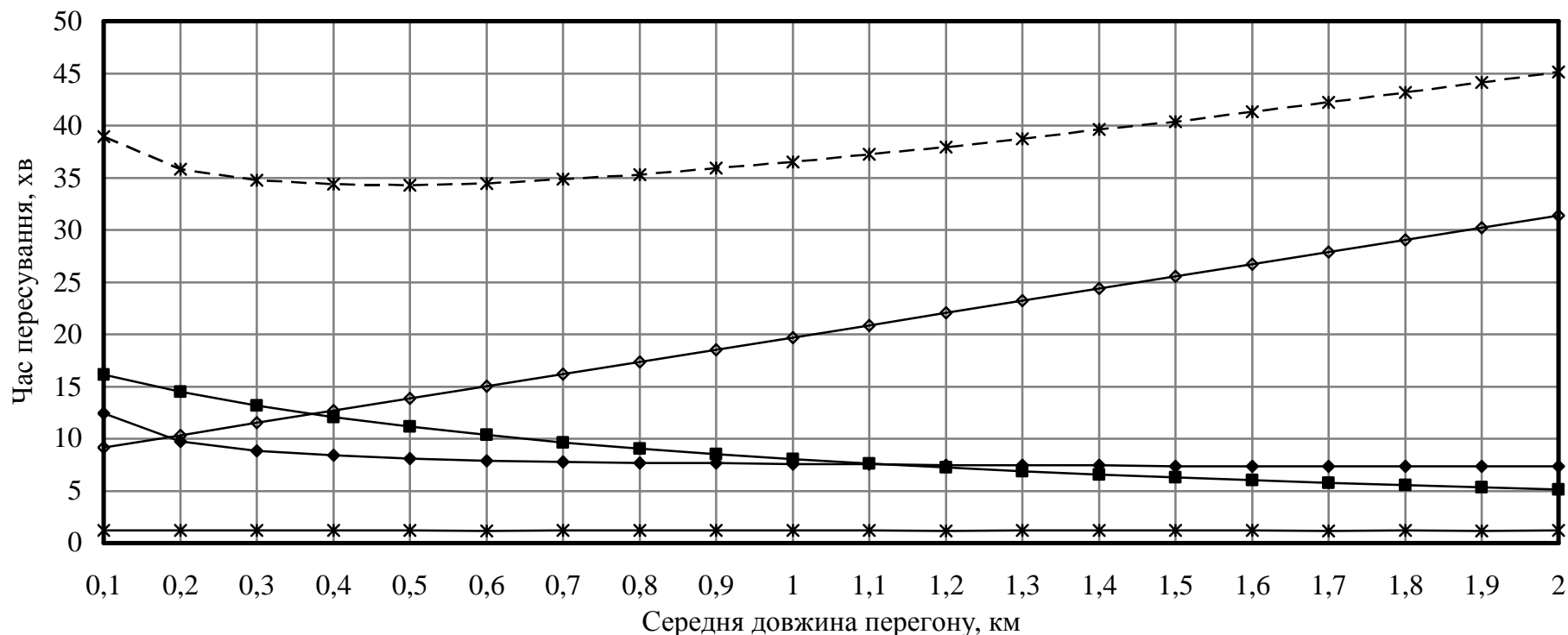


Рисунок 5.10 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,62$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,5 км:

- ◆— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- \*--- — загальний час пересування, хв.

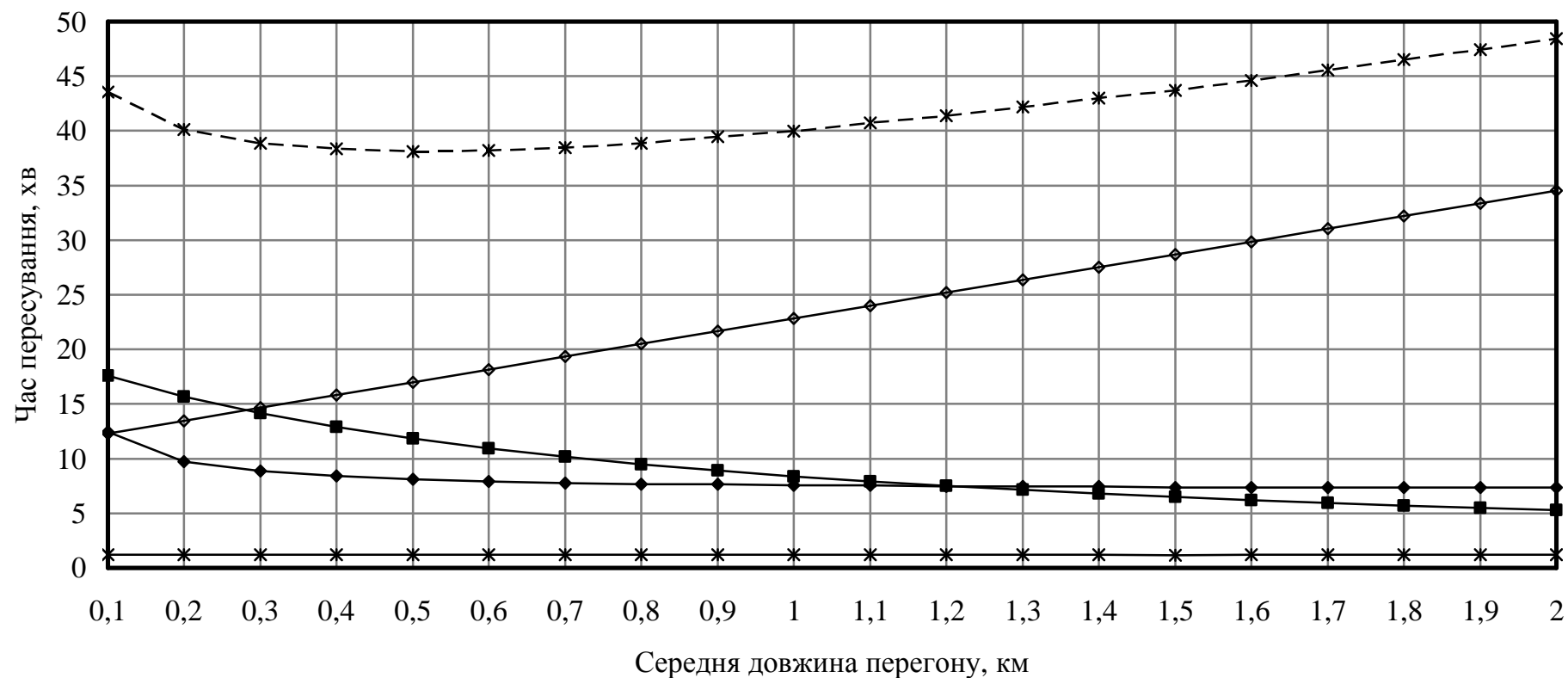


Рисунок 5.11 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,4$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,5 км:

- ◇— – час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \* – час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— – час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- – час на пересування в транспортному засобі, хв;
- \* – загальний час пересування, хв.

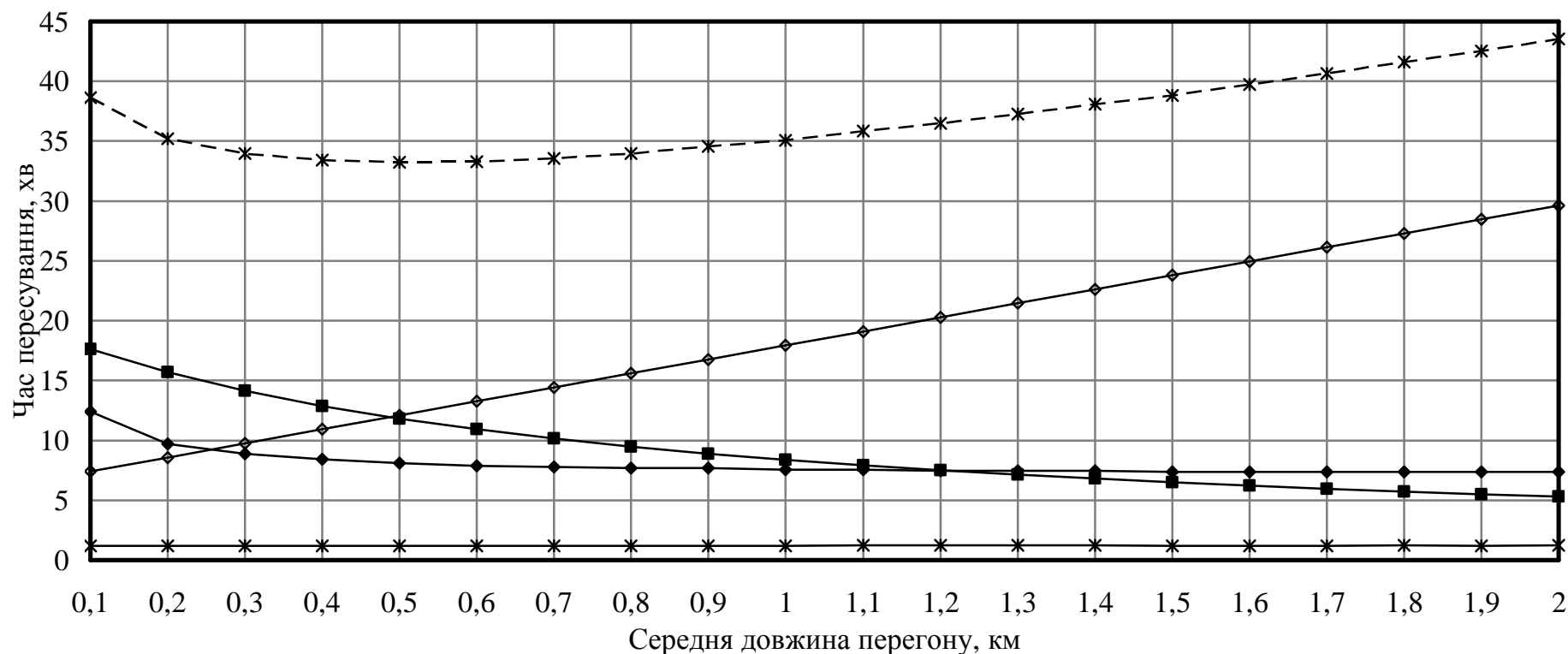


Рисунок 5.12 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 2,5$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,5 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простоя транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

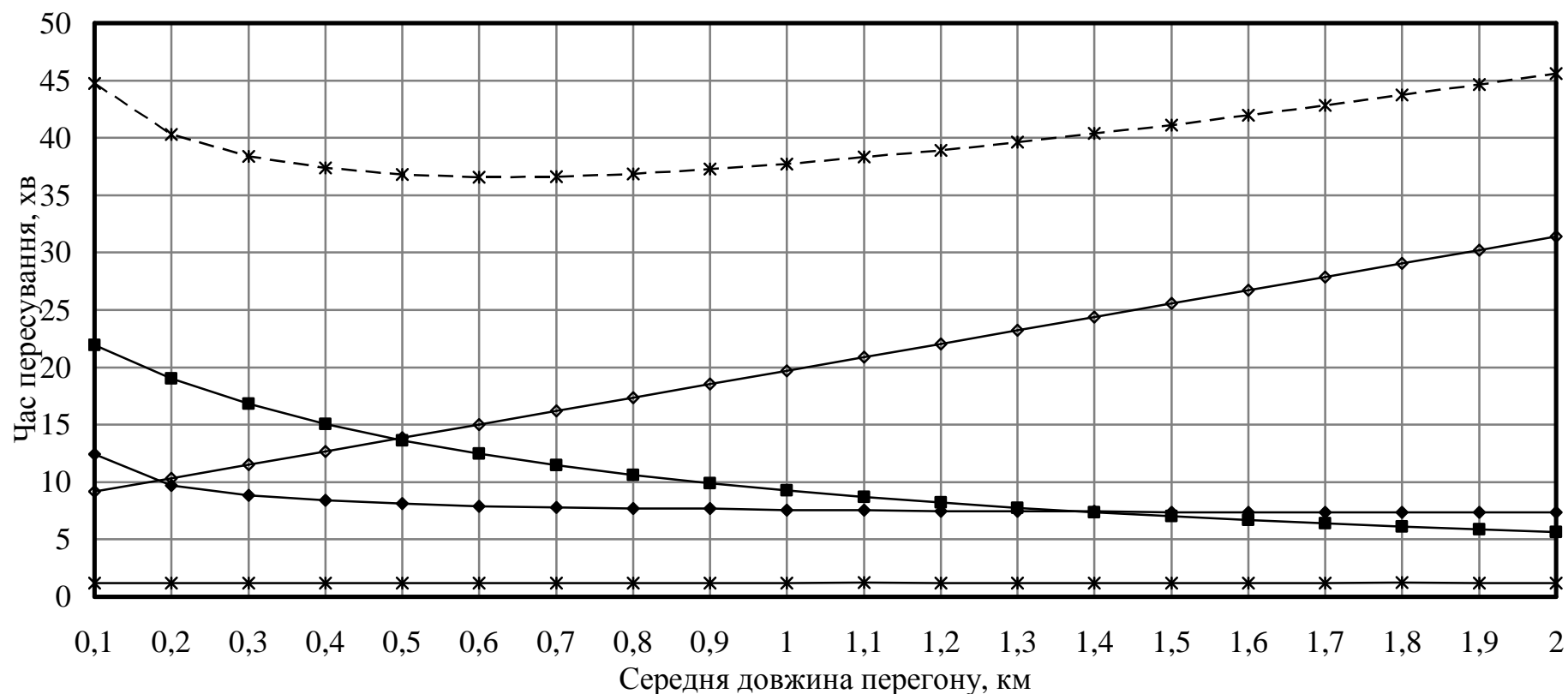


Рисунок 5.13 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 19$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,6 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

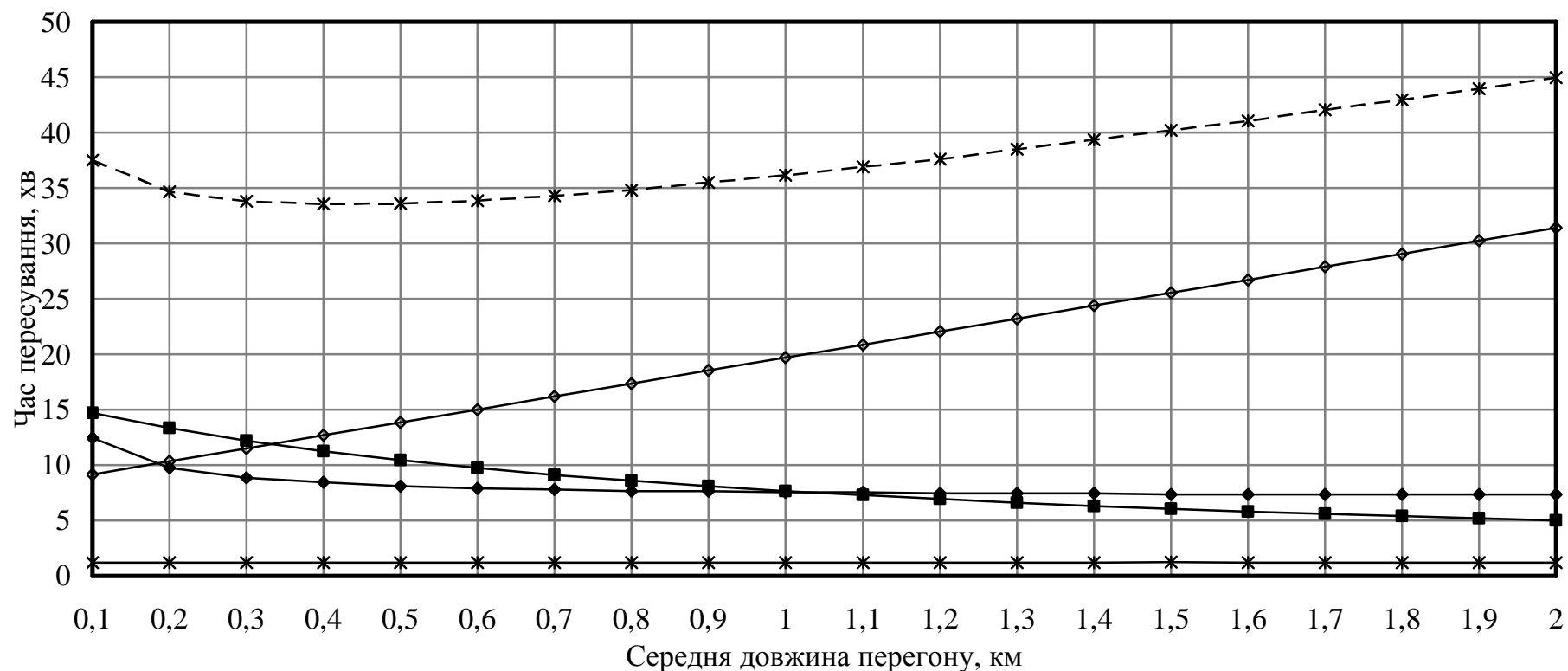


Рисунок 5.14 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 60$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,4 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.



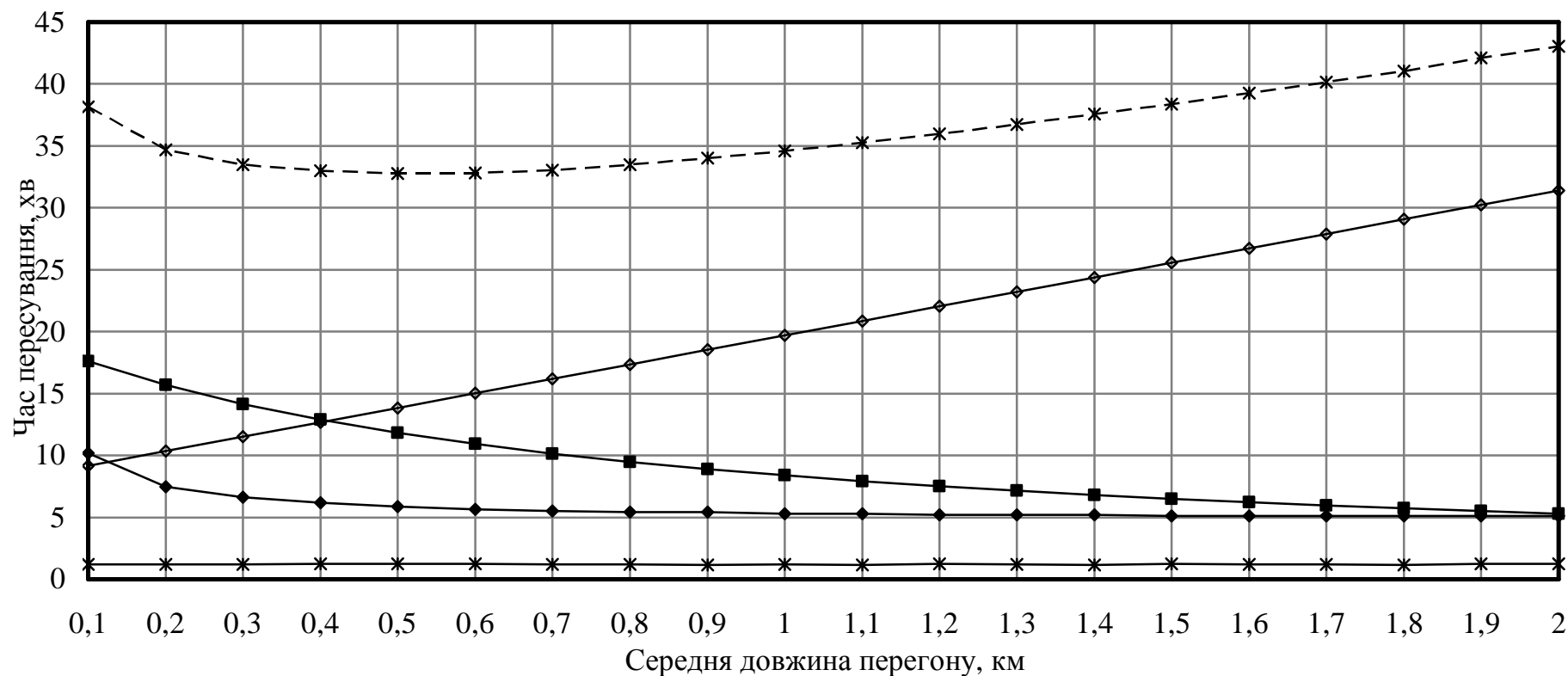


Рисунок 5.15 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 5$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського становить 0,47 км; за запропонованою методикою становить 0,5 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

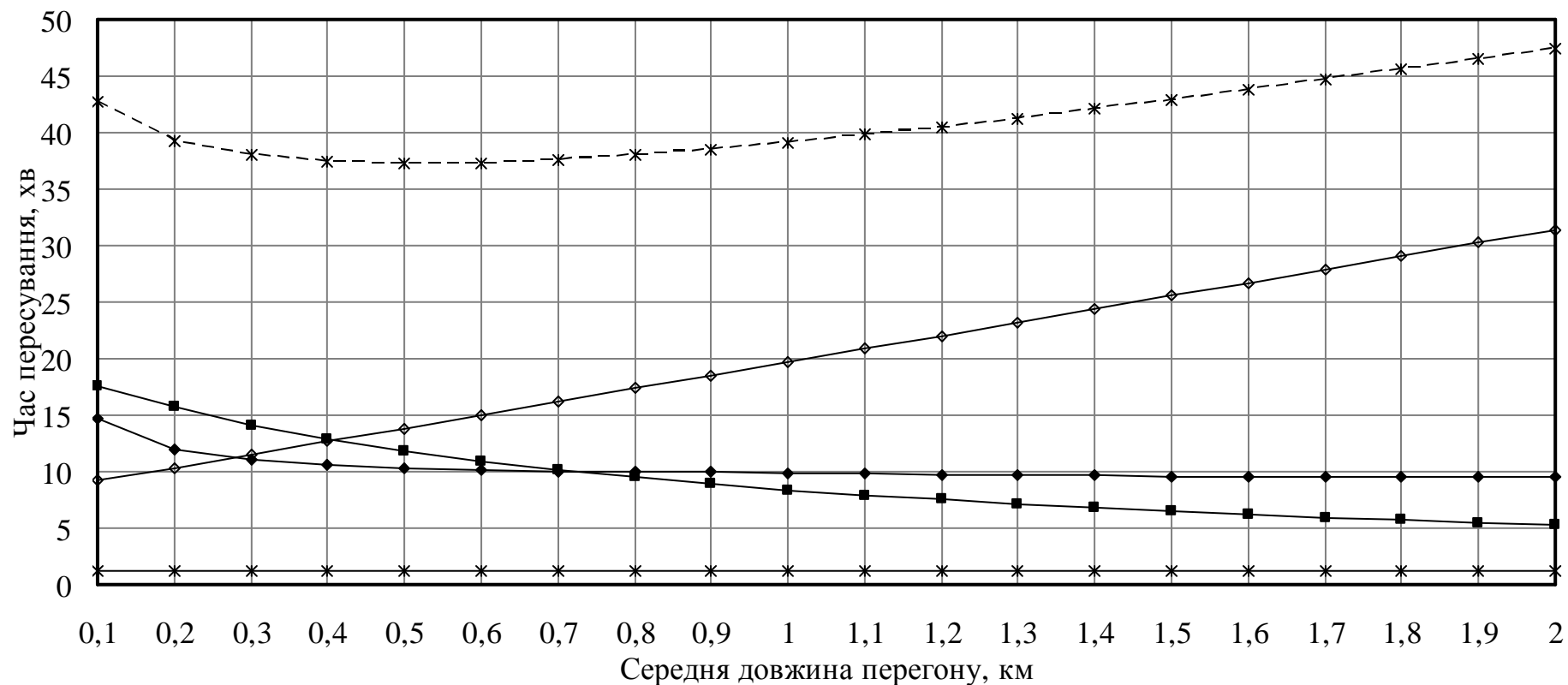


Рисунок 5.16 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 25$  км;  $l_{cp} = 5$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,31 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,47 км; за запропонованою методикою – 0,5 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

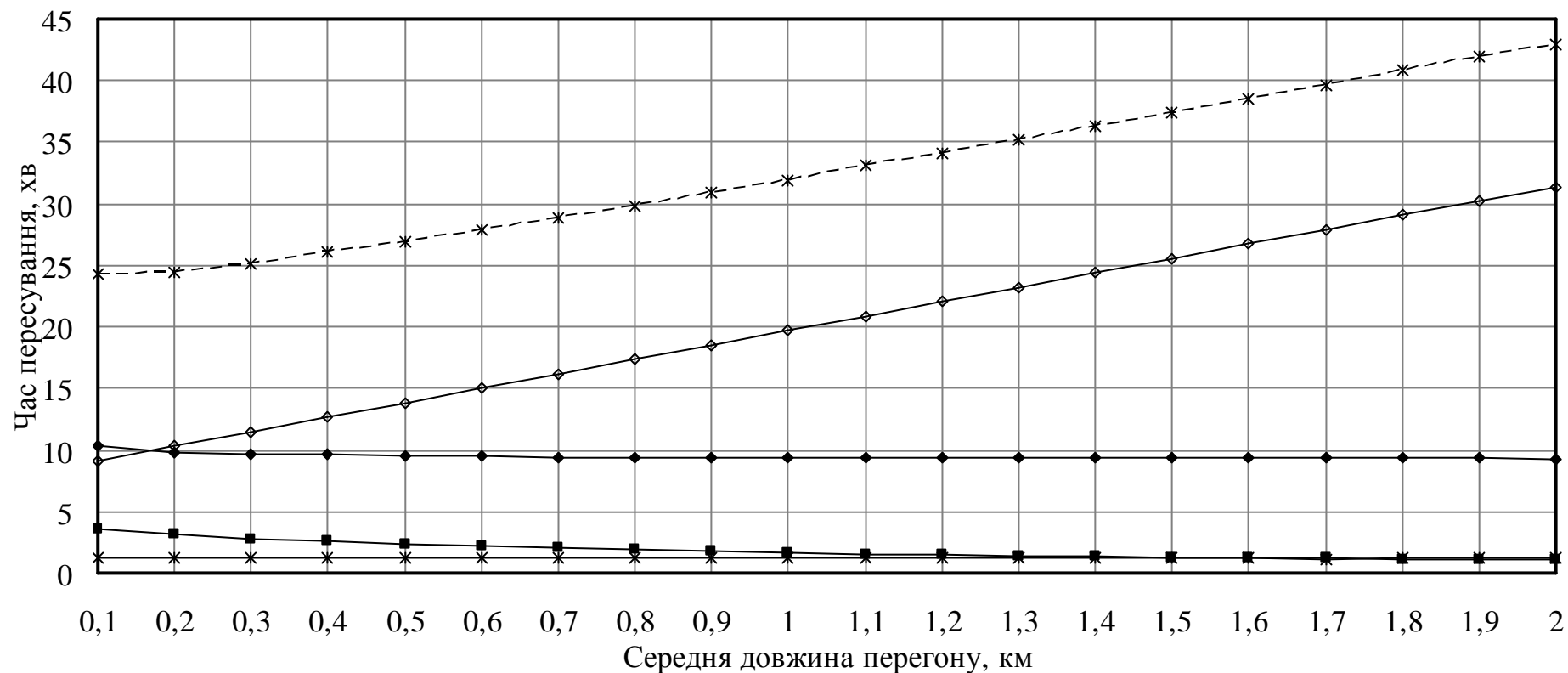


Рисунок 5.17 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійснення пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 5$  км;  $l_{cp} = 1$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,140 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,21 км; за запропонованою методикою – 0,1 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- ◆— — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

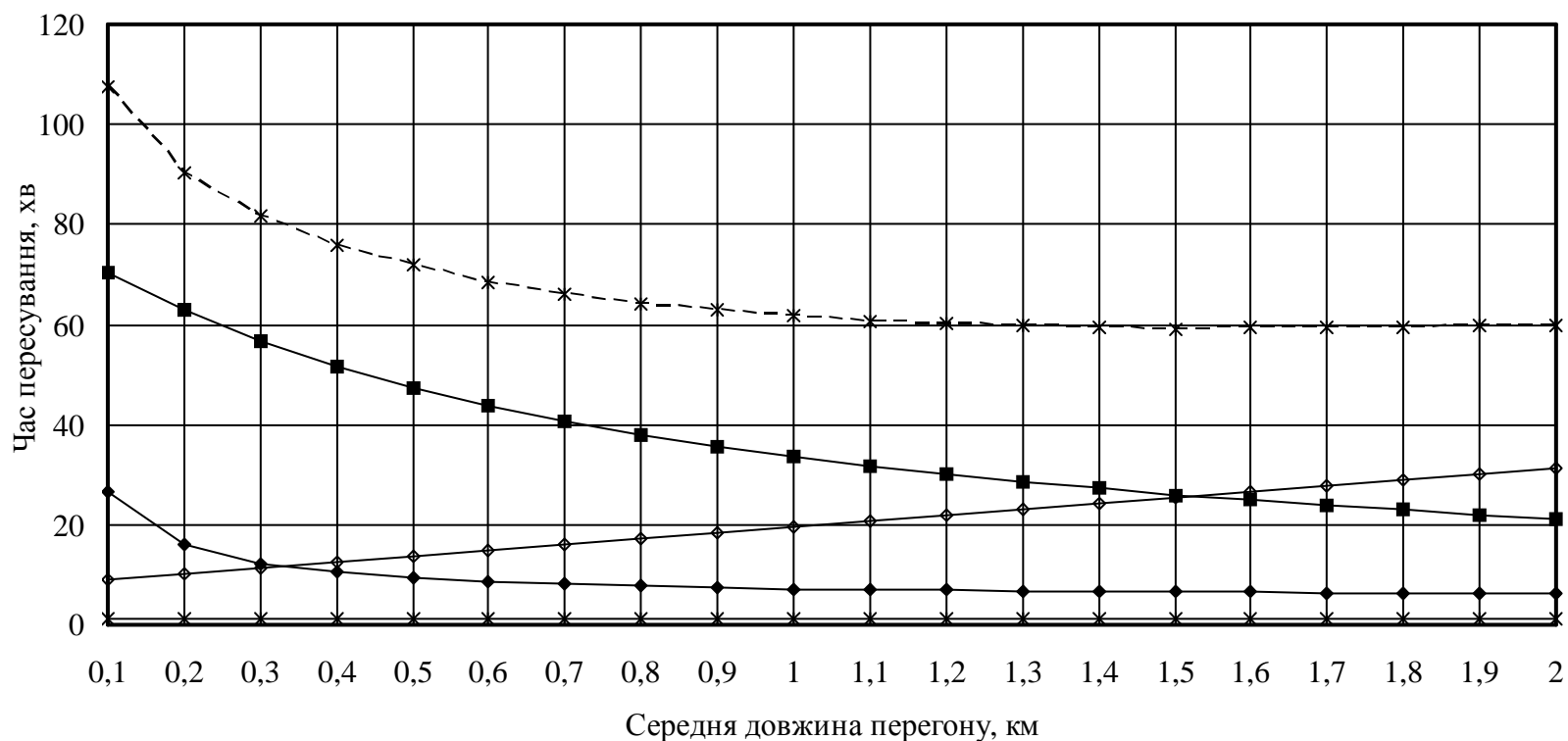


Рисунок 5.18 – Змінювання витрат часу пасажирів під час здійсненні пересування за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,5$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 25$  км;  $l_{cp} = 20$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 1500$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>. Рациональна довжина перегону за методикою І.С. Єфремова, В.М. Кобозєва, В.А. Юдіна становить 0,62 км; за методикою Н.Б. Островського – 0,93 км; за запропонованою методикою – 1,5 км:

- ◇— — час на пішохідний підхід до зупинкового пункту, хв;
- \*— — час на очікування транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час простою транспортного засобу на зупинковому пункті, хв;
- — час на пересування в транспортному засобі, хв;
- - \* - - загальний час пересування, хв.

Можна зробити висновок, що зі збільшенням коефіцієнта заповнення салону автобуса зменшується швидкість транспортного засобу, а отже збільшується час пересування, який становить 39,02 хв. Змінювання часу пересування при середньому значенні коефіцієнта використання місткості подано на рисунку 5.1.

Далі було проаналізовано вплив на час пересування значення пасажиропотоку на найбільш завантаженій ділянці мережі, змінювання якої подано на рисунках 5.1, 5.4, 5.5.

При мінімальному значенні  $F_{max}$ , поданому на рисунку 5.4, загальні витрати часу на пересування становлять 37,45 хв, а довжина перегону – 0,5 км. При максимальному значенні (рис. 5.5) середня довжина перегону також становить 0,5 км, а час – 34,25 хв.

Отже, за будь-яких значень пасажиропотоку довжина перегону залишається незмінною і час істотно не змінюється. Проте отриманий результат був узятий під сумнів через те, що значення пасажиропотоку істотно впливає на всі параметри перевізного процесу. Для перевірки впливу цього фактора на досліджені величини, були змінені усередині значення параметрів, на підставі яких побудований графік на рисунку 5.1. Це пов'язано з тим, що при великих значеннях пасажиропотоку, який змінюється в діапазоні 1500 – 4000 пасажир, доцільно застосовувати транспортні засоби іншої місткості. У разі використання транспортних засобів з іншими параметрами, наприклад місткістю 162 пасажир та питомою потужністю 9,42 кВт/т (рис. 5.6), довжина перегону і час пересування змінюються і набувають значень 0,6 км та 38,60 хв, відповідно. Це дає змогу зробити висновок про те, що при цих значеннях параметри збільшуються. Із огляду на це, при оцінюванні впливу величини пасажиропотоку на максимально завантаженому перегоні маршруту на значення довжини перегону необхідно провести додаткові дослідження.

Далі було проаналізовано, як саме параметри рухомого складу впливають на витрати часу пасажирів під час пересування і при якій довжині перегону ці витрати мінімальні. Було розглянуто кілька транспортних засобів. Спочатку (див. рис. 5.7), було розглянуто марку автобуса Mazda-E2200 з номінальною місткістю 12 пасажир і питомою потужністю двигуна 32,6 кВт/т. Отриманий час пересування становить 29,37 хв, а значення довжини перегону – 0,4 км. Це пов'язано з мінімальними витратами часу на посадку і висадку пасажирів у зв'язку з невеликим значенням номінальної місткості. Порівнюючи отримані результати з даними, наведеними на рисунку 5.1, можна зробити висновок, що час і довжина перегону також змінюються. На рисунку 5.8

наведено графік змінювання досліджених величин, якщо на маршруті буде використано автобус марки Ікарус-280 з місткістю 165 пасажир і питомою потужністю 9,42 кВт/т. У такому разі час пересування збільшується – 39,99 хв, відповідно збільшується й довжина перегону – 0,6 км. Отже, посадка і висадка пасажирів займе більше часу, що збільшить час простою транспортного засобу на зупинковому пункті.

На рисунках 5.1, 5.9, 5.10 подано графіки змінювання загального часу пересування і довжини перегону при різних значеннях коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою. З наявного діапазону значень також було визначено максимальне, середнє і мінімальне значення. Так, при максимальному коефіцієнті зчеплення колеса з дорогою (див. рис. 5.9) час пересування дорівнює 33,64 хв, довжина перегону – 0,4 км. Зі зменшенням коефіцієнта зчеплення досліджувані параметри збільшуються (див. рис. 5.10), коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою дорівнює 0,62, а час пересування – 34,30 хв, середня довжина перегону – 0,5 км. Якщо ж значення цього коефіцієнта буде зменшуватися, то ні довжина перегону, ні час майже не зміняться (див. рис. 5.1). Оскільки значення коефіцієнта залежить від пори року і стану дорожнього покриття, подальше дослідження зміни довжини перегону з урахуванням цього параметра недоцільне.

На наступному етапі дослідження було виявлено, що на значення довжини перегону щільність транспортної мережі істотно не впливає. Графіки, наведені на рисунках 5.1, 5.11, 5.12, побудовані для різних її значень, підтверджують зазначене. На рисунку 5.11 подано графік змінювання параметрів пересування пасажирів при мінімальному значенні щільності транспортної мережі, яка становить  $1,4 \text{ км/км}^2$  [3]. При цьому час пересування маршрутом становить 38,12 хв, а довжина перегону дорівнює 0,5 км. Зі збільшенням цього параметра збільшується тільки час пересування (див. рис. 5.1, 5.12), він становить 33,21 хв, довжина перегону – теж 0,5 км. Це відбувається тому, що щільність транспортної мережі істотно впливає на пішохідний підхід пасажира, частиною якого вона є.

Проаналізовано швидкість транспортного потоку. На рисунку 5.13 подано графік зміни параметрів пересування пасажирів, якщо швидкість транспортного потоку 19 км/год. При цьому значенні мінімальний загальний час пересування становить 36,56 хв при довжині перегону 0,6 км. На рисунку 5.14 наведено залежності, під час побудови яких значення швидкості транспортного потоку було збільшене в два рази і становило 60 км/год. Було виявлено, що збільшення значення швидкості транспортного потоку призводить до зменшення загальних

витрат часу і довжини перегону. Час пересування становив 33,57 хв, а довжина – 0,4 км. При середньому значенні (див. рис. 5.1), цього фактора зазначена закономірність зберігається.

Під час досліджень було також визначено, що на довжину перегону, яка забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, не впливає довжина маршруту. Із графіків, (див. рис. 5.1, 5.15, 5.16) зрозуміло, що параметри пересування пасажирів не змінюються. Це пояснюється тим, що довжина маршруту не впливає на значення параметрів перевезення пасажирів. Наприклад, зі збільшенням довжини маршруту збільшується час оберту, але він компенсується збільшенням кількості транспортних засобів.

Зі зміною параметрів пересування пасажирів залежно від середньої дальності поїздки одного пасажирів було встановлено це значення змінюється відповідно до довжини маршруту. Як і всі інші фактори, довжина маршруту визначалася при максимальному, середньому та мінімальному значеннях. Середня дальність поїздки пасажирів приймалася рівною мінімально можливому, середньому й максимальному значенням відповідно (див. рис. 5.1, 5.17 і 5.18). Отже, при заданих значеннях довжини маршруту 5 км, 15 км і 25 км середня відстань поїздки приймалася рівною 1 км, 5 км і 20 км відповідно. Дослідження довели, що значення довжини перегону може становити навіть 0,1 км, якщо вказані значення мінімальні (рис. 5.17). Загальні витрати часу в цьому разі мінімальні – 24,27 хв. З графіка (рис. 5.18) зрозуміло, що, якщо значення довжини перегону дорівнює 1,5 км, значення часу пересування становить 59,20 хв. Значення середньої поїздки і довжини маршруту в цьому разі – максимальні. На рисунку 5.1 подано середні значення всіх параметрів.

Отже, зазначені закономірності можна використовувати під час визначення довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування.

Далі досліджувався вплив кожного параметра на значення середньої довжини перегону і розробка моделі її зміни залежно від параметрів перевізного процесу.

### **5.3 Аналіз залежності витрати часу пасажирів на пересування і довжини перегону від параметрів перевізного процесу**

Результати досліджень (див. рис. 5.1) доводять, що змінювання параметрів перевізного процесу призводить до зміни витрат часу на пересування, але отримані результати не дають змоги оцінити ступінь впливу кожного з них.

Щоб оцінити ступінь впливу, було проаналізовано зміну мінімального значення часу пересування і довжини перегону, що забезпечує це значення, залежно від величини досліджуваних параметрів. Кожен параметр має свій допустимий діапазон вимірювання (див. табл. 5.1), в межах якого і проводилися дослідження. Значення інших параметрів приймалися за середньою величиною і не варіювалися.

На кожному етапі дослідження визначалися мінімальні витрати часу пасажирів на пересування та довжина перегону, яка забезпечує ці витрати. Результати розрахунків (див. рис. 5.19 – 5.32) дали змогу зробити висновки про закономірності і ступінь впливу кожного з поданих параметрів.

На першому етапі цього розділу роботи досліджувалася щільність транспортної мережі, яка змінювалася в діапазоні від 1,4 до 2,5 км/км<sup>2</sup> (рис. 5.19) [3].

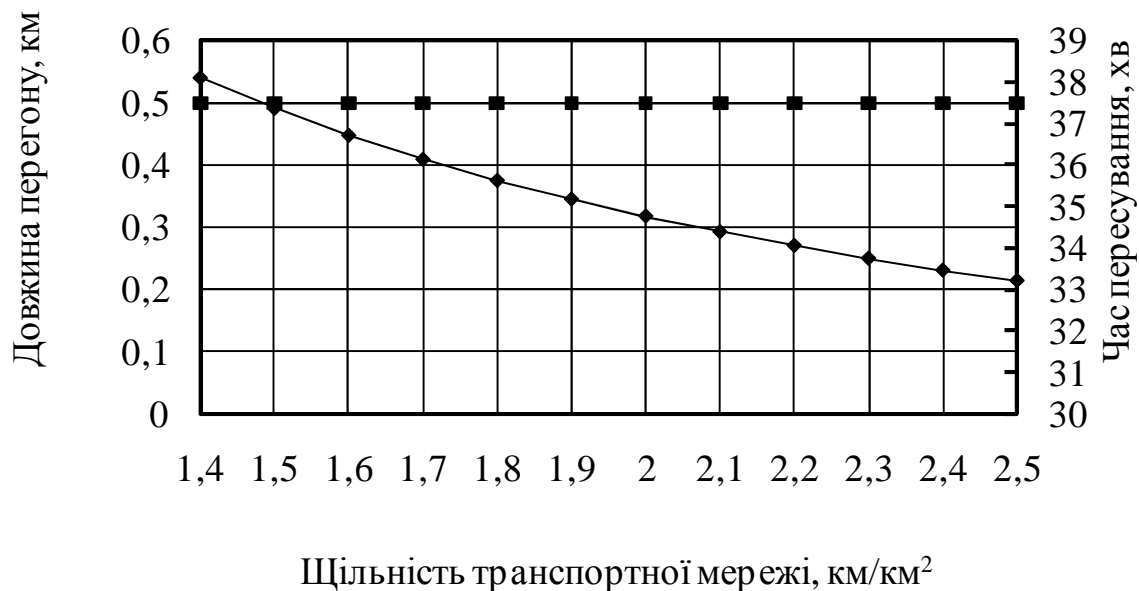


Рисунок 5.19 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від щільності транспортної мережі:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км.

Графічне зображення змінювання довжини перегону та мінімальних витрат часу під час пересування залежно від швидкості транспортного потоку (рис. 5.20) доводить, що досліджувані параметри будуть зменшуватимуться, якщо значення цього фактора збільшуватимуться. До того ж у разі збільшення швидкості на 40 км/год витрати часу зменшаться тільки на 3,5 хв. Отже, зміна



швидкості транспортного потоку не є підставою для відповідного зменшення часу пересування.

Наступним етапом стало дослідження впливу місткості транспортних засобів рисунок 5.21.

Було визначено, що збільшення місткості призводить до збільшення часу пересування. Проте довжина перегону, що забезпечує ці витрати, залишається постійною. Дійшли висновку, що місткість не впливає на раціональну довжину перегону.

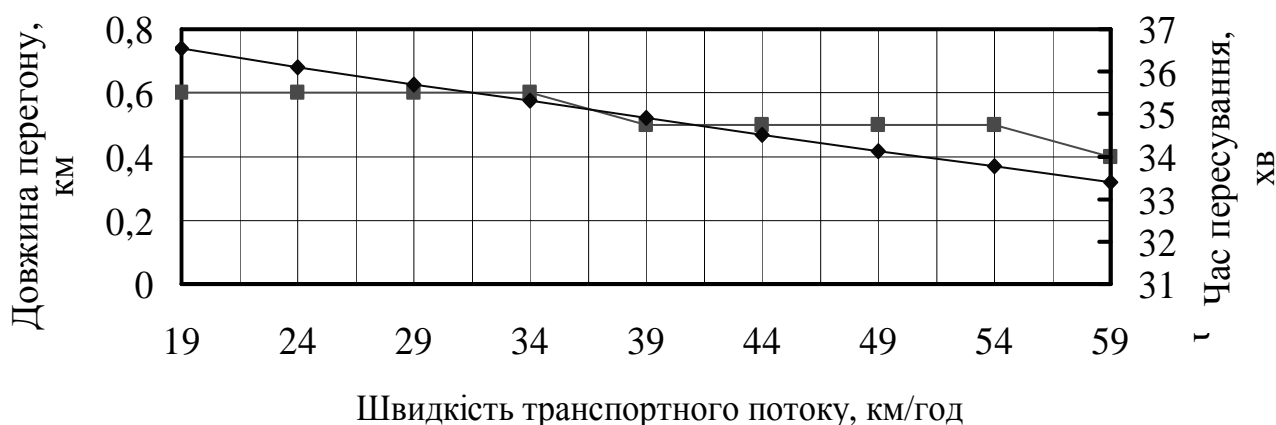
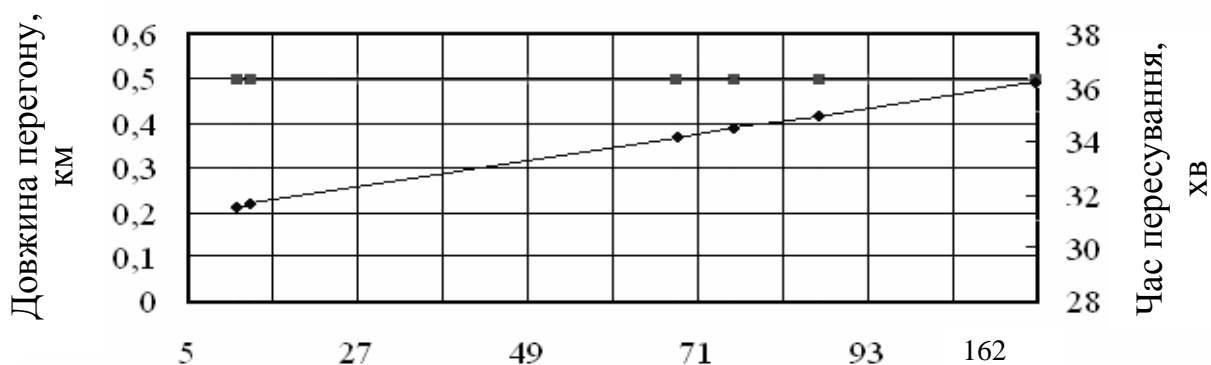


Рисунок 5.20 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від швидкості транспортного потоку:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км



Місткість транспортних засобів, пас.

Рисунок 5.21 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від місткості транспортних засобів:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км

Аналіз впливу питомої потужності транспортного засобу на витрати часу пасажирів на пересування (рис. 5.22) доводить, що зі збільшенням цього параметра зменшуються витрати часу пасажирів і значення довжини перегону.

Проте між місткістю транспортного засобу і його питомою потужністю спостерігається суттєва кореляція (розділ 3).



Рисунок 5.22 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від питомої потужності транспортних засобів:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км.

Отже, аналіз кожного, окремо взято параметра транспортних засобів не дає об'єктивної оцінки їх впливу на витрати часу пасажирів під час пересування загалом. З метою усунення цього недоліку було аналізовано сумарний вплив параметрів транспортного засобу на витрати часу і довжину перегону.

Характеристики транспортних засобів, що використовувались під час дослідження, наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристики транспортних засобів, що використовувалися під час дослідження

Марка транспортного засобу	Місткість, пас.	Питома потужність, кВт/т
Мазда Є2200	12	32,6
Газель 32213	13	31,4
ЛАЗ-695н	67	12,9
Ікарус 260	75	12,48
Вольво Б10М	86	18,2
Ікарус 280	162	9,42

Графік змінювання досліджуваних факторів відповідно до параметрів транспортних засобів подано на рисунку 5.23.

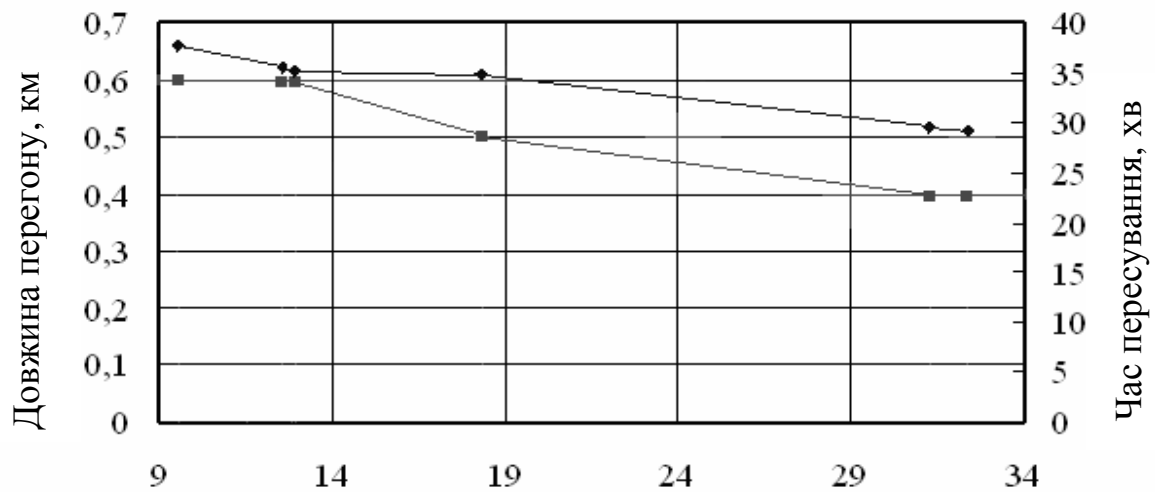


Рисунок 5.23 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від місткості транспортних засобів та з урахуванням їхньої питомої потужності:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км.

Було виявлено, що ця залежність має нелінійний характер. Крім того, на графіку наявні точки перегину, у яких характер залежності змінюється: від збільшення до зменшення, і навпаки. З метою виявити причини такого змінювання були побудовані графіки змінювання витрат часу і довжини перегону залежно від питомої потужності та при одночасному впливові місткості та потужності (рис. 5.24).

Проаналізувавши отримані результати прийшли до висновку про те, що наявність точок зміни характеру залежності (рис. 5.23) зумовлена невідповідністю зміни місткості та питомої потужності для транспортних засобів. Наприклад, автобус марки Вольво-Б10М не відповідає тенденції зменшення питомої потужності у разі збільшення місткості. Наслідком цього і є зміна характеру залежності між досліджуваними параметрами.



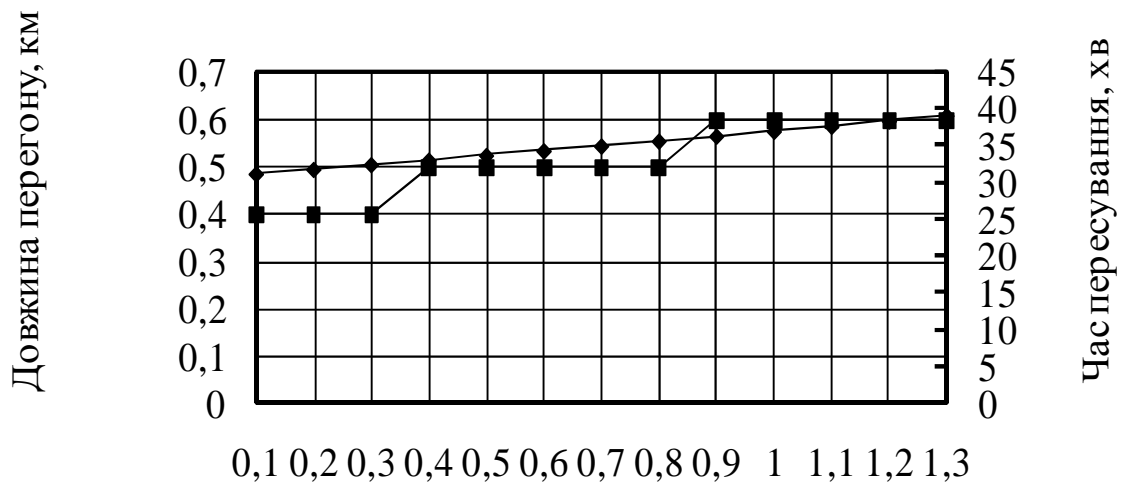
Питома потужність транспортних засобів, кВт/т

Рисунок 5.24 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від потужності транспортних засобів та з урахуванням їхньої місткості:

- ◆— витрати часу, хв;
- середня довжина перегону, км.

Наступним етапом став аналіз впливу коефіцієнта використання місткості на значення досліджуваних факторів (рис. 5.25).

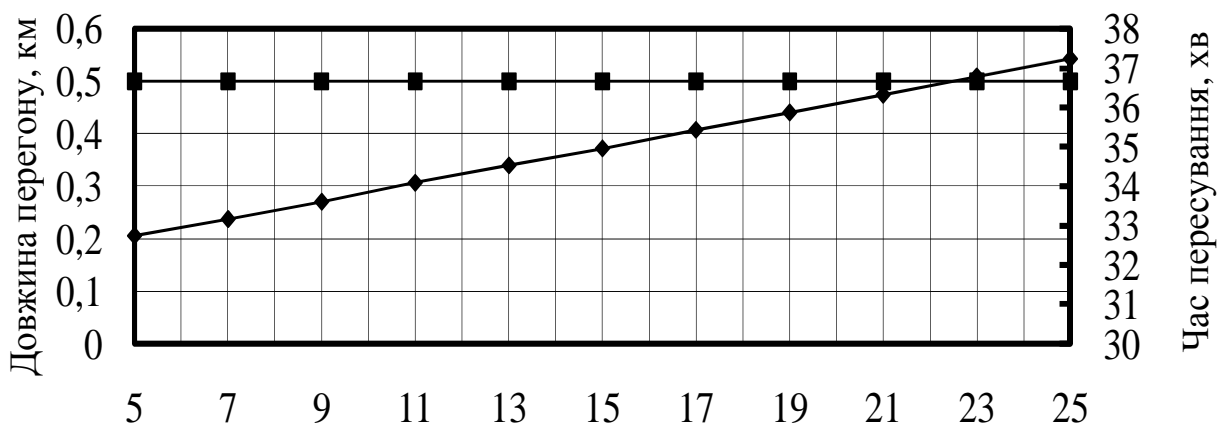
Було виявлено, що змінювання значення цього фактора, яке відбувалася в діапазоні від 1,3 до 0,1, призводить до зменшення витрат часу на пересування з 40 до 31,9 хв. Проте використання рухомого складу з невеликими значеннями цього коефіцієнта в реальних умовах є неприпустимим. Отже, надалі в дослідженнях коефіцієнт заповнення салону необхідно змінювати в реальному діапазоні. Під час дослідження впливу довжини маршруту на загальні витрати часу під час пересування і на довжину перегону використовувався діапазон від 5 до 25 км. Було виявлено, що цей фактор не впливає на значення довжини перегону. Значення витрати часу на пересування змінюються це відбувається внаслідок змінювання коефіцієнта змінюваності у разі зміни довжини маршруту (рис. 5.26).



### Коефіцієнт використання місткості автобуса

Рисунок 5.25 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від коефіцієнта використання місткості автобуса:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км.



### Довжина маршруту, км

Р

Рисунок 5.26 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від довжини маршруту:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км.

Далі було проведено аналіз змінювання витрат часу на пересування і довжину перегону залежно від значення пасажиропотоку на найбільш

завантаженому перегоні маршруту. Було виявлено, що зі збільшенням значення пасажиропотоку час на пересування зменшується (рис. 5.27).

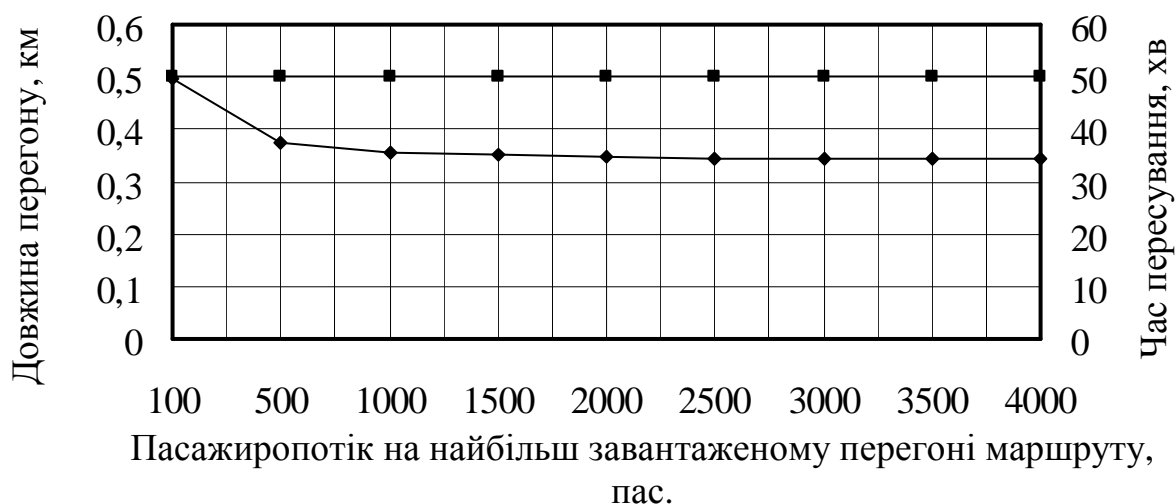
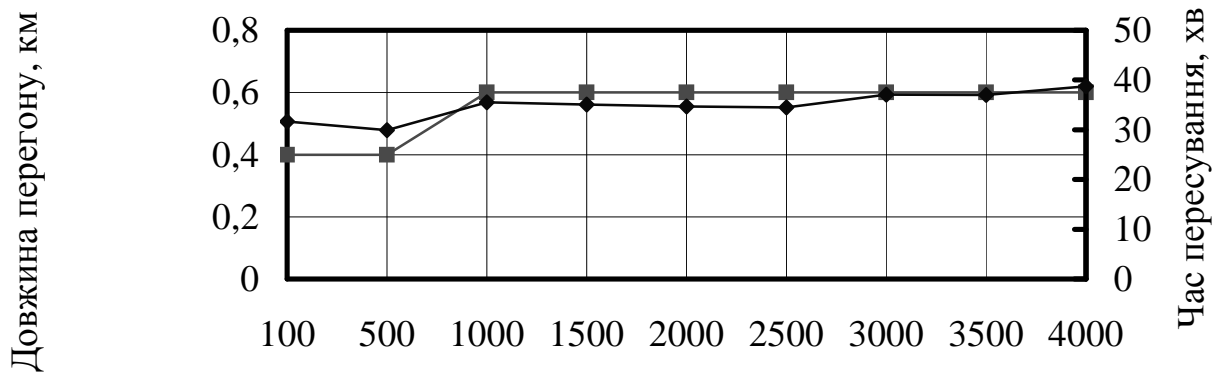


Рисунок 5.27 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту:

- ◆— – витрати часу, хв;
- – середня довжина перегону, км.

Це пов'язано зі зменшенням інтервалу руху транспортних засобів, при збільшенні їх кількості залежно від значення пасажиропотоку. У цьому разі довжина перегону залишається постійною. Проте, як було зазначено в розділі 5.1, під час аналізу впливу значень пасажиропотоку на найбільш завантаженої ділянці мережі необхідно у разі його змінюванні корегувати і значення місткості транспортного засобу, що використовується. Графік змінювання досліджених параметрів з урахуванням зазначено вище наведений на рисунку 5.28.

Як зрозуміло з графіка, змінювання пасажиропотоку призводить до змінювання довжини перегону і часу очікування. Це відбувається внаслідок місткості транспортного засобу. При значенні пасажиропотоку 100 пас/год і 500 пас/год використовуються транспортні засоби марки Газель-32213 і Мазда-Є2200 з більшою питомою потужністю, що обумовлює зменшення довжини перегону.



Пасажиропотік на найбільш завантаженому перегоні маршруту, пас.

Рисунок 5.28 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від транспортного засобу і пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту мережі:

- ◆— витрати часу, хв;
- середня довжина перегону, км.

При аналізі зміни мінімальних витрат часу і середньої довжини перегону залежно від середньої відстані поїздки пасажира (рис. 5.29 – 5.32) залежність була нелінійною.



Рисунок 5.29 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від середньої відстані поїздки пасажира за таких умов:  $\gamma = 0,1$ ;  $K_c = 0,2$ ;  $U = 9,42$  кВт/т;  $V_{II} = 19$  км/год;  $l_M = 7$  км;  $q_n = 12$  пас.;

$$F_{max} = 100 \text{ пас./год}; \delta = 1,4 \text{ км/км}^2 :$$

- ◆— витрати часу, хв;
- середня довжина перегону, км.

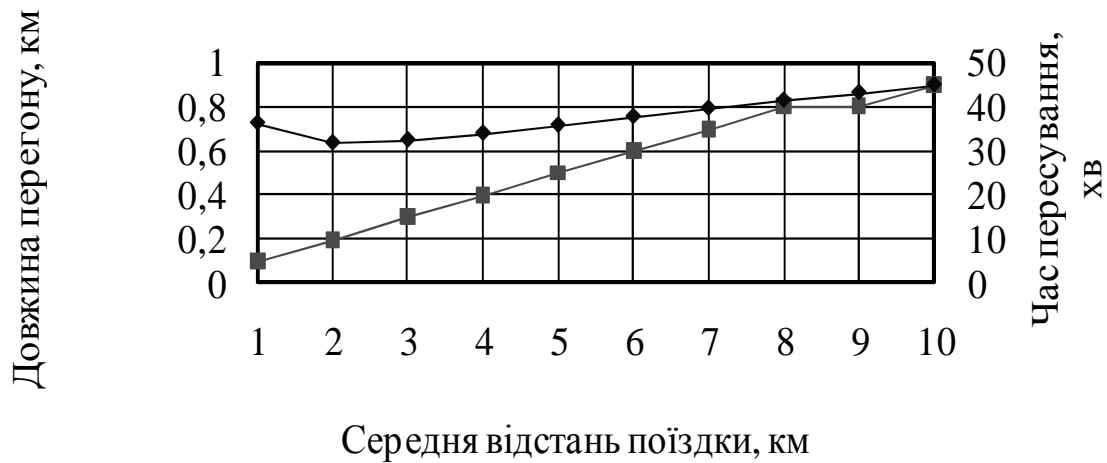


Рисунок 5.30 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від середньої відстані поїздки пасажирів за таких умов:  $\gamma = 0,7$ ;  $K_c = 0,48$ ;  $U = 18,2$  кВт/т;  $V_{II} = 38$  км/год;  $l_M = 15$  км;  $q_n = 75$  пас.;  $F_{max} = 650$  пас./год;  $\delta = 1,95$  км/км<sup>2</sup>:

—♦— – витрати часу, хв;  
 —■— – середня довжина перегону, км.

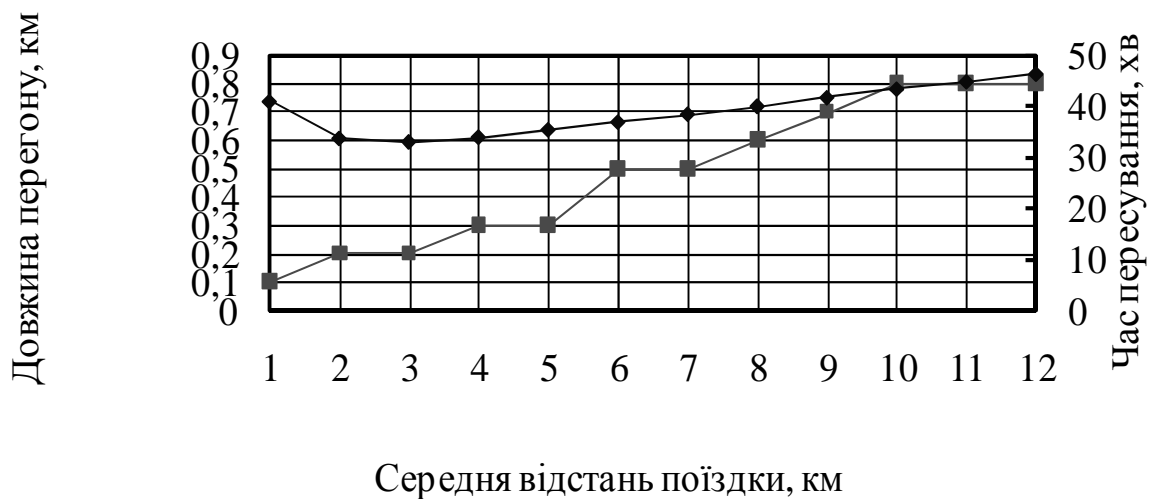


Рисунок 5.31 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від середньої відстані поїздки пасажирів за таких умов:  $\gamma = 1$ ;  $K_c = 0,62$ ;  $U = 31,4$  кВт/т;  $V_{II} = 48$  км/год;  $l_M = 19$  км;  $q_n = 86$  пас.;  $F_{max} = 925$  пас./год;  $\delta = 2$  км/км<sup>2</sup>:

—♦— – витрати часу, хв;  
 —■— – середня довжина перегону, км.



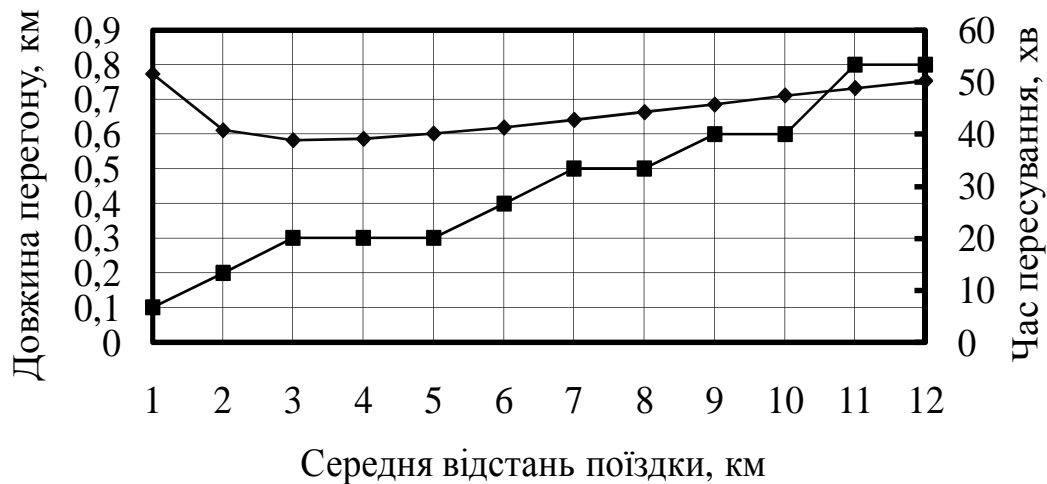


Рисунок 5.32 – Змінювання мінімальних витрат часу на пересування і середньої довжини перегону залежно від середньої відстані поїздки пасажирів за таких

умов:  $\gamma = 1,3$ ;  $K_c = 0,75$ ;  $U = 32,6$  кВт/т;  $V_{II} = 60$  км/год;  $l_M = 25$  км;

$q_n = 162$  пасажир;  $F_{max} = 1500$  пас/год;  $\delta = 2,5$  км/км<sup>2</sup>:

- ◆— витрати часу, хв;
- середня довжина перегону, км.

Для різних поєднань параметрів перевізного процесу існує таке середнє значення поїздки пасажирів, за якого витрати часу пасажирів стають мінімальними. Отже, можна дійти висновку, що для маршруту перевезення пасажирів з певним значенням середньої відстані поїздки пасажирів існує таке поєднання параметрів перевізного процесу, яке забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів під час пересування. Отримані закономірності впливу параметрів перевізного процесу на довжину перегону, що забезпечують мінімальні витрати часу під час пересування пасажирів, можна використовувати під час розроблення моделі змінювання середньої довжини перегону.

#### 5.4 Модель змінювання довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту

Результати (пп. 5.2, 5.3) дали змогу визначити фактори, що впливають на довжину перегону маршруту міського пасажирського транспорту, а саме: номінальна місткість транспортного засобу, коефіцієнт використання місткості автобуса, довжина маршруту, швидкість транспортного потоку, потужність двигуна автомобіля, щільність транспортної мережі, середня дальність поїздки одного пасажирів та коефіцієнт змінюваності. З використанням цільової

функції (5.21) були визначені різні значення довжини перегону, які забезпечують мінімальні витрати часу пасажирів на пересування при різних поєднаннях параметрів перевізного процесу. Результати розрахунків наведені в додатку Д.

На першому етапі дослідження було проаналізовано аналіз впливу кожного з раніше визначених факторів на значення довжини перегону маршруту міського пасажирського транспорту, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування. Цей аналіз проводився на підставі математичного опису графіків залежності між досліджуваними параметрами. Це необхідно для того, щоб здійснити рейтингову оцінку величини впливу окремих факторів [156, 157].

На першому етапі було розглянуто, як залежить довжина перегону від значень номінальної місткості автобуса (рис. 5.33).

Ця залежність може бути подана як така модель:

$$l_{n.сep} = 0,43 + 0,002q_n, \quad (5.22)$$

де  $l_{n.сep}$  – середня довжина перегону, яка забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, км;

$q_n$  – номінальна місткість транспортного засобу, пас.

Розрахункове значення критерію Стюдента наведеної залежності для константи становить 34,01, а для коефіцієнта – 4,07. Табличне значення критерію Стюдента є меншим – 1,37, це свідчить про достатню значущість фактора номінальної місткості транспортного засобу.

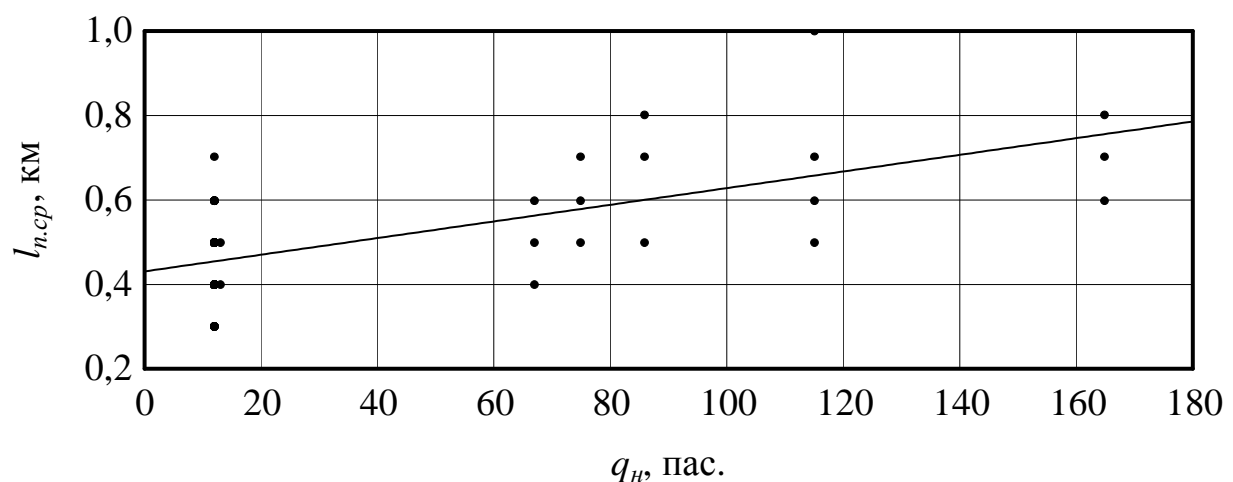


Рисунок 5.33 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від номінальної місткості транспортного засобу

Модель має високу інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 16,56, що перевищує його табличне значення – 1,39. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,41. Отже, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною слабкий, але хоча він достатньо високий щодо інших показників. Отже, використання цього фактора під час розрахунку моделі є доцільним. Коефіцієнт детермінації для отриманої моделі дорівнює 0,64. Це доводить, що цей параметр значно впливає на модель. Можна також зробити висновок, що на маршрутах, на яких використовуються автобуси з більшою місткістю, доцільно збільшувати довжину перегону.

Далі було розглянуто залежність довжини перегону від коефіцієнта заповнення салону (рис. 5.34).

Залежність описана такою моделлю:

$$l_{n.cер} = 0,15 + 0,52\gamma, \quad (5.23)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт заповнення салону автобуса.

Критерій Стюдента для коефіцієнта дорівнює 6,24, а для константи – 3,32. До того ж табличне значення зазначено вище критерію для цієї моделі становить 1,29. Це свідчить про достатню значущість коефіцієнта заповнення салону автобуса.

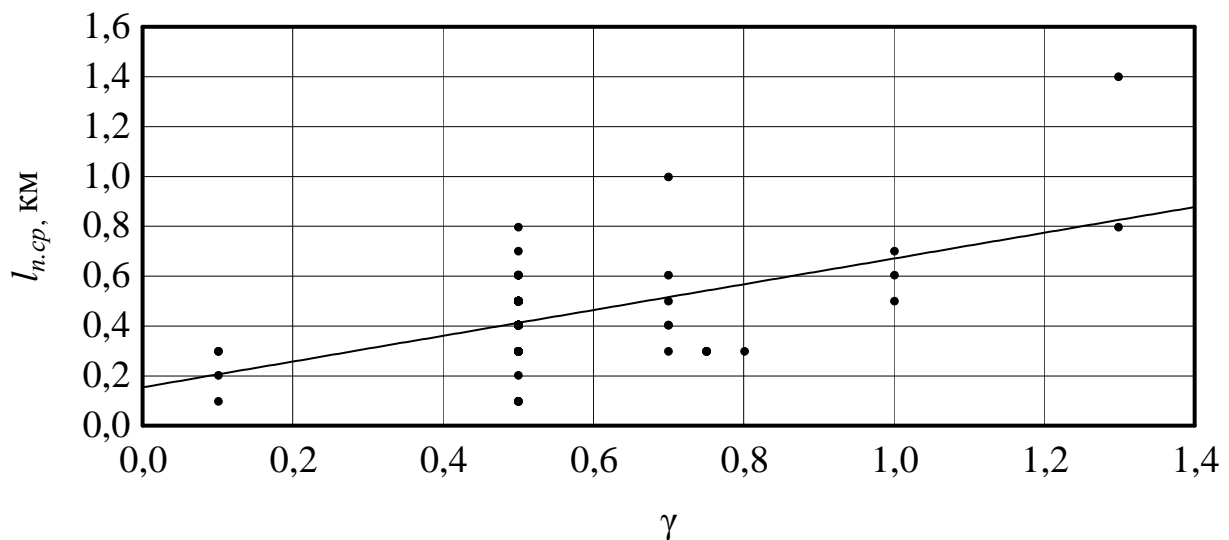


Рисунок 5.34 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від коефіцієнта заповнення салону автобуса

Модель має високу інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера становить 38,90, що перевищує його табличне значення – 1,25. Між досліджуваними параметрами слабка щільність зв'язку, оскільки коефіцієнт

множинної кореляції дорівнює 0,26. Коефіцієнт детермінації становить 0,51. Це означає, що цей показник достатньо впливає на довжину перегону. З графіка зрозуміло, що зі збільшенням коефіцієнта заповнення салону автобуса збільшується й довжина перегону.

Графічне зображення експериментальних точок змінювання довжини перегону залежно від значень довжини маршруту подано на рисунку 5.35.

Ця залежність має наступний вигляд:

$$l_{n.cер} = 0,28 + 0,01l_M, \quad (5.24)$$

де  $l_M$  – довжина маршруту, км.

Для константи розрахункове значення критерію Стюдента дорівнює 2,73, а для коефіцієнта – 4,07. Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,29. Це означає, що довжина маршруту може мати достатню значущість. Модель має достатню інформаційну здатність, про що свідчить значення критерію Фішера, яке становить 5,18 і перевищує його табличне значення – 1,25.

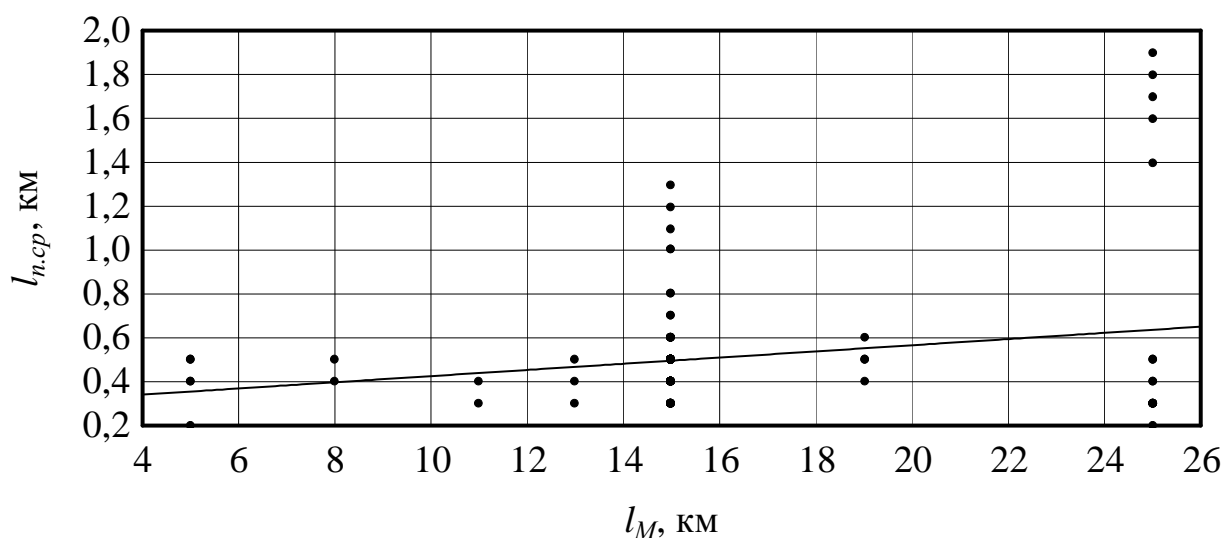


Рисунок 5.35 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від довжини маршруту

Оскільки коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,04, ступінь щільності зв'язку між залежною і незалежною змінною слабкий, тому цей показник недоцільно використовувати під час розрахунку моделі.

Коефіцієнт детермінації для цієї залежності становить 0,20, що свідчить про слабкий вплив цього параметра на значення довжини перегону.

Далі було розглянуто, як змінюється довжина перегону залежно від середньої дальності поїздки (рис. 5.36).

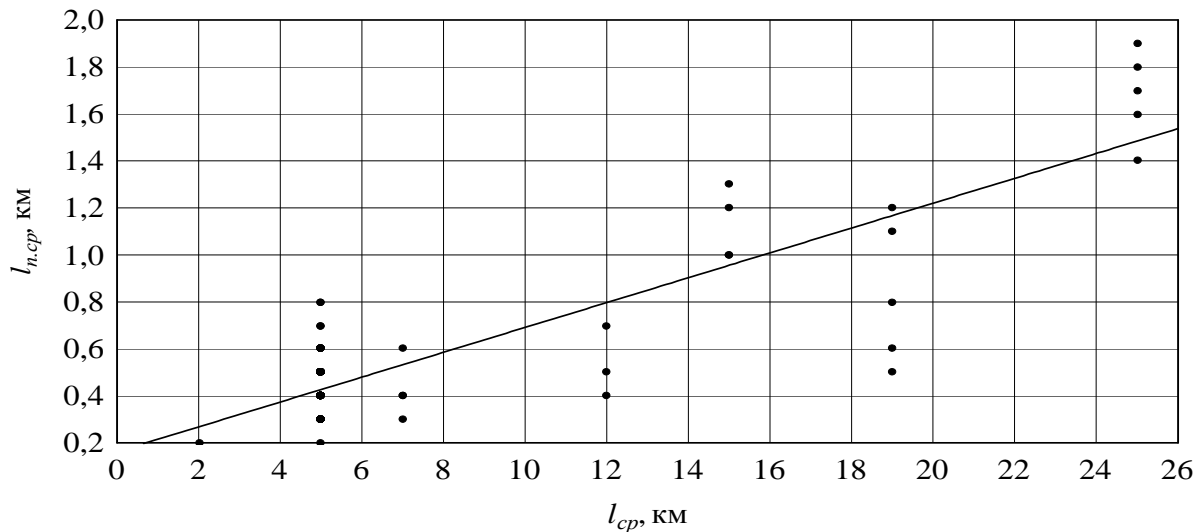


Рисунок 5.36 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від середньої дальності поїздки пасажирів

Залежність має такий вигляд:

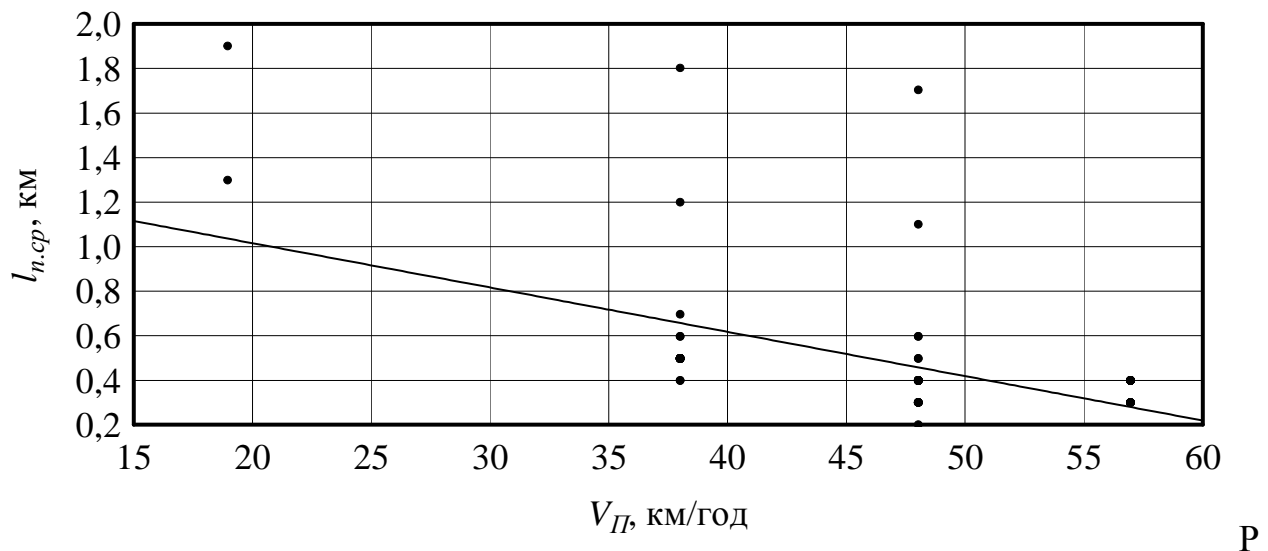
$$l_{n,ср} = 0,11 + 0,06l_{ср}, \quad (5.25)$$

де  $l_{ср}$  – середня дальність поїздки пасажирів, км.

За допомогою розрахунків було встановлено, що значення критерію Стюдента для константи становить 6,86, а для коефіцієнта – 28,53. Розрахункове значення більше за табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі і дорівнює 2,36. Це свідчить про високу значущість середньої дальності поїздки пасажирів. Модель має також високу інформаційну здатність згідно зі значенням критерію Фішера 813,84, яке перевищує його табличне значення – 1,25. Коефіцієнт множинної кореляції становить 0,87, отже, ступінь щільності зв'язку між досліджуваними параметрами високий.

Цей фактор достатньо впливає на довжину перегону, про що свідчить коефіцієнт детермінації, який дорівнює 0,93. На підставі наведених показників і графіка зрозуміло, що середня дальність поїздки пасажирів може визначати середнє значення довжини перегону.

Далі було розглянуто графічне зображення експериментальних точок змінювання довжини перегону залежно від швидкості транспортного потоку (рис. 5.37).



исунок 5.37 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від швидкості транспортного потоку

Залежність представлена такою моделлю:

$$l_{n,cp} = 1,41 - 0,02V_{П} , \quad (5.26)$$

де  $V_{П}$  – швидкість транспортного потоку, км/год.

Розрахункове значення критерію Стюдента для константи дорівнює 9,26, а для коефіцієнта – 6,29. Табличне значення критерію Стюдента для цієї залежності – 1,30. Це означає, що значущість фактора швидкості транспортного потоку достатня. Модель має високу інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера становить 39,51, що у багато разів перевищує його табличне значення – 1,39. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,31, тому ступінь щільності зв'язку між досліджуваними параметрами слабкий. Швидкість транспортного потоку може впливати на довжину перегону, про що свідчить коефіцієнт детермінації, який дорівнює 0,57. Збільшення швидкості залежить від довжини перегону. Це зрозуміло з графіка: що більша швидкість потоку, то більша довжина перегону.

Графік змінювання довжини перегону залежно від коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою поданий на рисунку 5.38.

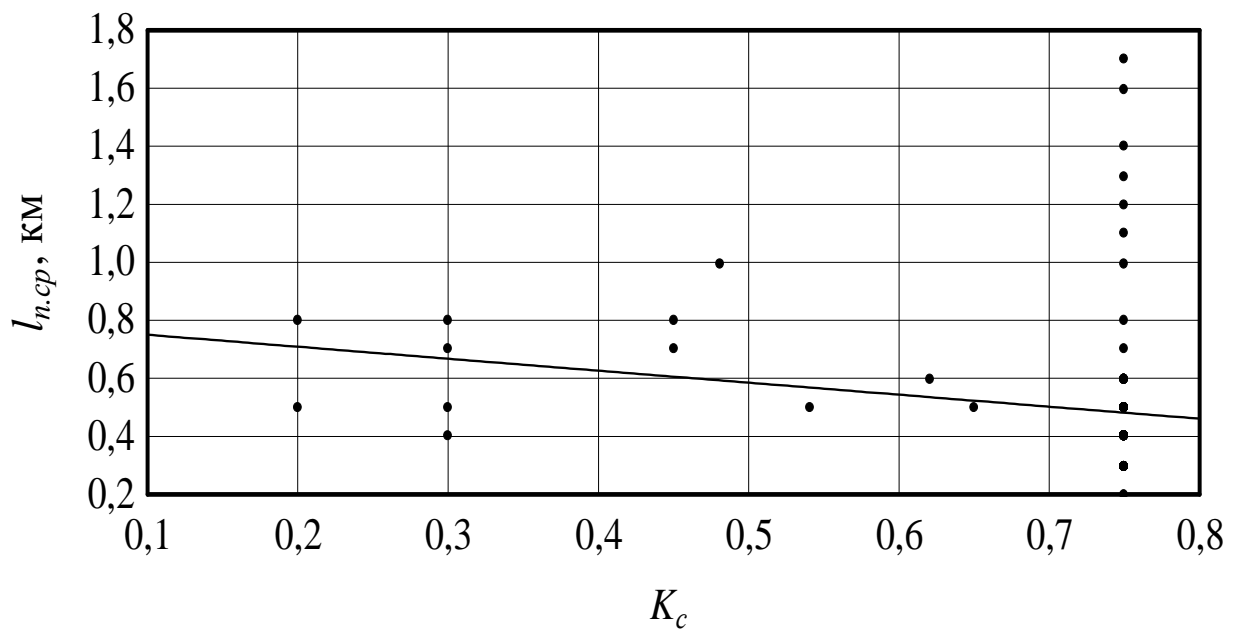


Рисунок 5.38 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою

Модель має такий вигляд:

$$l_{n.c.p.} = 0,91 - 0,57K_{зч}, \quad (5.27)$$

де  $K_{зч}$  – коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою.

У цій моделі критерій Стюдента для константи дорівнює 3,69, а для коефіцієнта – 2,12, що відповідає його табличному значенню, яке становить 1,29. Отже, значущість коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою достатня. Розрахункове значення критерію Фішера для цього фактора дорівнює 4,49, воно більше за його табличне значення – 1,25.

Між досліджуваними параметрами ступінь зв'язку слабкий, оскільки коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,04. Коефіцієнт детермінації становить 0,2. Цей фактор виявився незначущим. Більш точним показником, що описує технічну характеристику автомобіля, є питома потужність двигуна автобуса, про що зазначено нижче.

Графічне зображення експериментальних точок змінювання довжини перегону залежно від питомої потужності автобуса подано на рисунку 5.39.

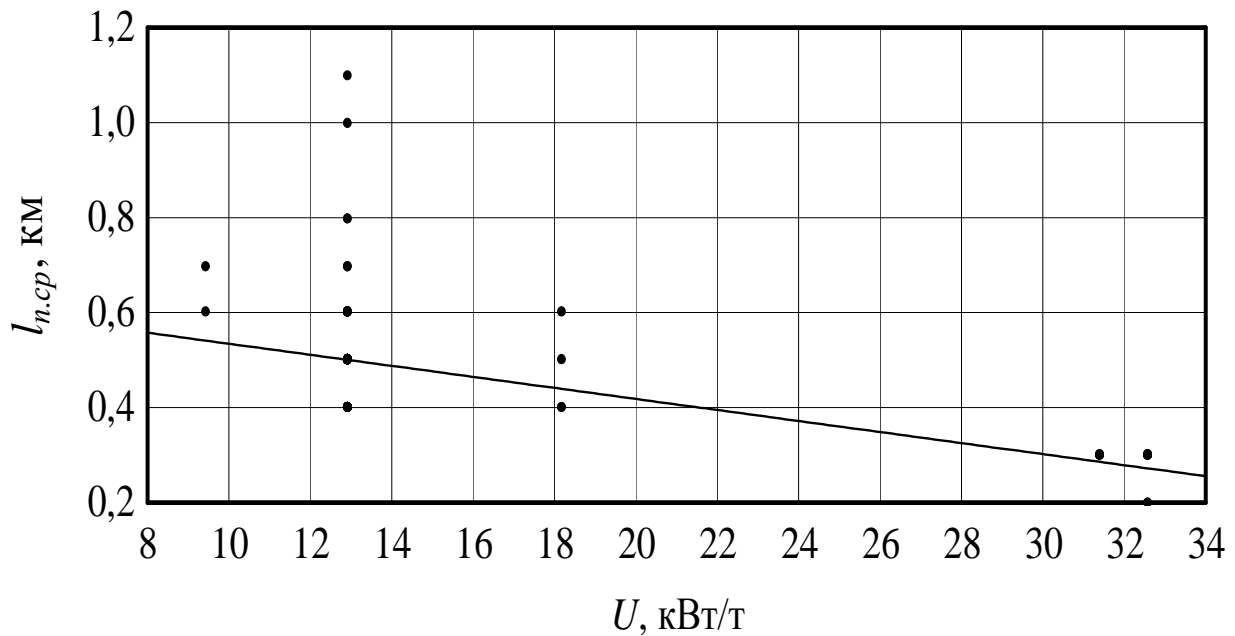


Рисунок 5.39 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від питомої потужності двигуна

Залежність має такий вигляд:

$$l_{n,cp} = 0,65 - 0,01U, \quad (5.28)$$

де  $U$  – питома потужність двигуна автомобіля, кВт/т.

Табличне значення критерію Стюдента для цієї моделі становить 1,30. За допомогою розрахунків було визначено, що для коефіцієнта він становить 8,04, для константи – 24,4. Це означає значущість фактора достатня. Табличне значення критерію Фішера для цієї залежності – 1,25 – нижче за розрахункове 64,67, тобто модель має високу інформаційну здатність. Між досліджуваними слабка ступінь щільності зв'язку слабкий, оскільки коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,38. Коефіцієнт детермінації становить 0,62, отже на довжину перегону достатньо впливає цей фактор. Питома потужність значно впливає на швидкість автомобіля. Зі збільшенням потужності двигуна збільшується і швидкість автомобіля. Відповідно зменшується час сполучення, що є необхідною умовою для виконання цільової функції визначення середнього значення довжини перегону.

Графічне зображення експериментальних точок змінювання довжини перегону залежно від щільності транспортної мережі подано на рисунку 5.40.



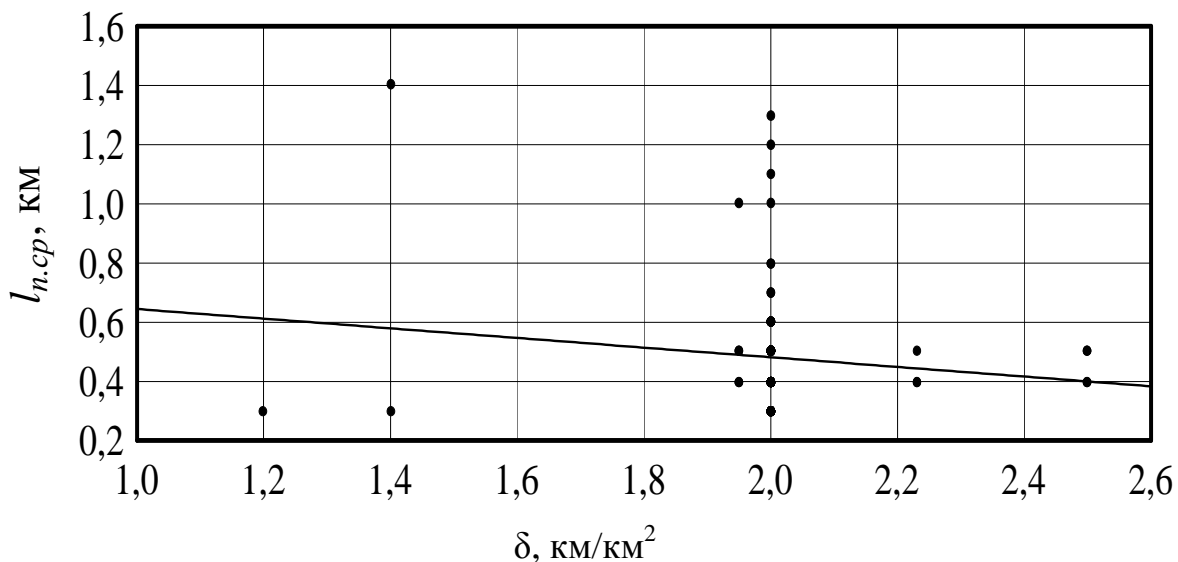


Рисунок 5.40 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від щільності транспортної мережі

Залежність представлена у вигляді такої моделі:

$$l_{n.crp} = 1,06 - 0,28\delta, \quad (5.29)$$

де  $\delta$  – щільність транспортної мережі,  $\text{км/км}^2$ .

Отримані значення критерію Стюдента для константи 3,59 і для коефіцієнта 1,9 задовольняють табличне значення цього критерію – 1,30.

Це означає, що значущість щільності транспортної мережі як фактора достатня, але модель має невисоку інформаційну здатність, оскільки значення критерію Фішера дорівнює 3,72, що не набагато перевищує його табличне значення – 1,25. Між цими факторами ступінь щільності зв'язку слабкий, оскільки коефіцієнт множинної кореляції – 0,04. Зрозуміло, що щільність транспортної мережі не впливає на значення довжини перегону як фактор, про що свідчить коефіцієнт детермінації, який дорівнює 0,2.

Останнім було розглянуто графічне зображення експериментальних точок змінювання довжини перегону залежно від коефіцієнта змінюваності (рис. 5.41).

Залежність представлена у вигляді такої моделі:

$$l_{n.crp} = 0,151 + 0,079K_{зм}, \quad (5.30)$$

де  $K_{зм}$  – коефіцієнт змінюваності.

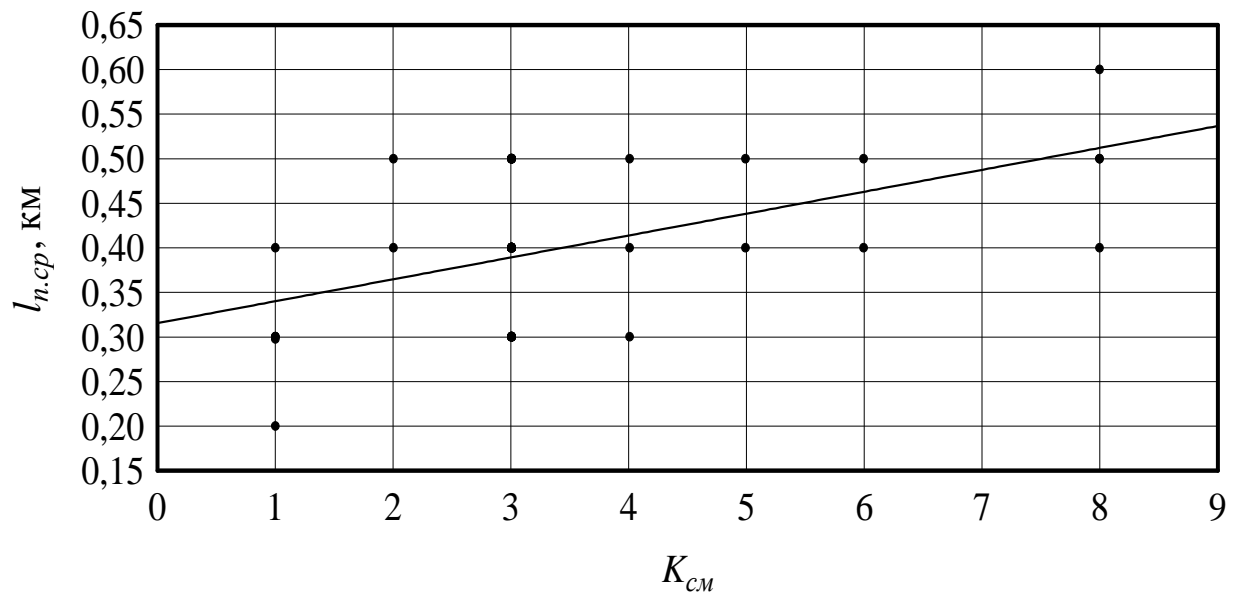


Рисунок 5.41 – Графік змінювання середньої довжини перегону залежно від коефіцієнта змінюваності

Відомо, що табличне значення критерію Стюдента дорівнює 1,29. В отриманій моделі для коефіцієнта він дорівнює 3,57, для константи – 2,29, тобто цей фактор достатньо значущий. Критерій Фішера для цієї залежності дорівнює 12,75, що набагато перевищує його табличне значення – 1,39. Отже, модель має достатню інформаційну здатність. Коефіцієнт множинної кореляції дорівнює 0,18, тому ступінь щільності зв'язку між дослідженими параметрами низький. Цей фактор, відповідно до коефіцієнта детермінації, який становить 0,42, достатньо впливає на довжину перегону. Із графіка зрозуміло, що зі збільшенням коефіцієнта змінюваності збільшується і довжина перегону.

Внаслідок проведеного аналізу зазначених факторів були відібрані ті з них, які виявилися найбільш значущими. За допомогою методики, наведеної в розділі 2, була побудована регресійна модель змінювання довжини перегону залежно від різних факторів.

Під час вирішення завдання розроблення регресійної моделі впливу різних параметрів на визначення середнього значення довжини перегону маршруту також була обрана модель лінійного типу, як і в попередньому розділі. Розмір вибірки під час розроблення регресійних моделей був визначений відповідно до рекомендацій, згідно з якими кількість спостережень не нижча за допустимі норми і становить 152 досліди. Під час обчислення коефіцієнтів регресії був використаний метод найменших квадратів. Для визначення значущості факторів, з яких складається модель, використовувався критерій Стюдента і довірчі інтервали кожного з коефіцієнтів регресії.

Характеристики параметрів моделі визначилися за допомогою відомих методів статистики.

Усі результати розрахунків моделі впливу різних факторів на визначення середнього значення довжини перегону маршруту наведені в таблицях 5.3, 5.4 та в додатку Е.

Модель має такий вигляд:

$$l_{n.сер} = 0,26\gamma + 0,07l_{сер} - 0,003V_{П} - 0,04\frac{U}{q_n} + 0,03K_{зм}. \quad (5.31)$$

Отже, з усіх досліджених факторів значущими виявилися лише п'ять, про що свідчать критерій Стюдента і відсутність нуля в довірчому інтервалі кожного коефіцієнта моделі.

Після розроблення регресійної моделі було здійснено її статистичне оцінювання. Результати розрахунків подані в таблиці 5.5.

На підставі поданих розрахунків можна зробити висновок про можливість використання отриманої моделі для обчислення значення довжини перегонів для маршрутів міського пасажирського автомобільного транспорту з різними параметрами процесу перевезення, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів під час пересування.

Таблиця 5.3 – Характеристика моделі змінювання значення середньої довжини перегону маршруту

Фактори	Позначення, розмірність	Межі вимірювань	Коефіцієнт	Стандартна похибка	Критерій Стюдента	
					розрахунковий	табличний
1	2	3	4	5	6	7
Коефіцієнт використання місткості	$\gamma$	0,1–1,3	0,26	0,02	10,49	1,96
Швидкість транспортного потоку	$V_{П}$ , км/год	19–60	0,003	0,0004	–7,61	

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7
Відношення питомої потужності двигуна до номінальної місткості	$\frac{U}{q_n}$ , кВт/т	9,42–32,6	0,04	0,009	–4,05	
Середня відстань поїздки пасажирів	$l_{cp}$ , км	1–20	0,07	0,002	52,3	
Коефіцієнт змінюваності пасажирів	$K_{cm}$	1–12,5	0,03	0,005	5,94	

Таблиця 5.4 – Довірчі інтервали коефіцієнтів моделі

Фактори	Нижня межа	Верхня межа
Коефіцієнт заповнення салону автобуса	0,21	0,31
Швидкість транспортного потоку	–0,003	–0,002
Відношення питомої потужності двигуна до номінальної місткості	–0,05	–0,02
Середня відстань поїздки пасажирів	0,068	0,07
Коефіцієнт змінюваності пасажирів	0,02	0,04

Таблиця 5.5 – Результати оцінювання моделі змінювання значення середньої довжини перегону маршруту

Показники		Значення
Критерій Фішера	табличний	2,29
	розрахунковий	1 912,66
Коефіцієнт множинної кореляції		0,99
Середня помилка апроксимації, %		8,67

## **5.5 Висновки до розділу**

Щільність транспортної мережі не впливає на значення довжини перегонів, що визначає мінімальні витрати часу пасажирів під час пересування.

На значення довжини перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, впливають фактори, що визначають швидкість автобусів на маршруті, а саме: швидкість транспортного потоку, питома потужність транспортного засобу, коефіцієнт використання місткості.

Для маршруту перевезення пасажирів з певним значенням середньої відстані поїздки пасажирів необхідне таке поєднання параметрів перевізного процесу, яке забезпечують мінімальні витрати часу на пересування.

4 Середня довжина перегону, яка забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, достатньо точно описується лінійним регресійним рівнянням, у якому змінними є параметри транспортного засобу, пасажиропотоку та умов руху.

## ВИСНОВКИ

Аналіз методів організації технологічного процесу перевезення пасажирів засвідчив, що витрати часу пасажирів на пересування можна зменшити шляхом оптимізації довжини перегонів маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту. Наявні методи оптимізації довжини перегонів недостатньо враховують вплив оптимізації на технічну швидкість, час простою транспортного засобу на зупинковому пункті та величину інтервалу руху транспортних засобів.

Виявлено, що змінювання технічної швидкості автобусів на перегоні маршруту і часу його простою на зупинкових пунктах маршруту достатньо точно характеризується лінійними регресійними рівняннями, у яких змінними є параметри маршруту, транспортних засобів, пасажиропотоку та умов руху.

Проведені дослідження довели, що щільність транспортної мережі не впливає на значення довжини перегону, що визначає мінімальні витрати часу пасажирів на пересування.

На значення довжини перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, впливають фактори, що визначають швидкість автобусів на маршруті, а саме: швидкість транспортного потоку, питома потужність транспортного засобу, коефіцієнт використання місткості.

Для маршруту перевезення пасажирів з певним значенням середньої відстані поїздки пасажирів необхідне таке поєднання параметрів перевізного процесу, яке забезпечують мінімальні витрати часу на пересування.

Середня довжина перегону, яка забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, достатньо точно описується лінійним регресійним рівнянням, у якому змінними є параметри транспортного засобу, пасажиропотоку та умов руху.

# Додаток А

## Параметри руху автобусів

Таблиця А.1 – Результати обстежень параметрів руху автобусів на перегоні маршруту

Номер спостереження	Швидкість автобуса на перегоні маршруту, км/год	Номінальна місткість автобуса, пас.	Кількість місць для сидіння, од.	Об'єм двигуна автобуса, л	Відстань видимості дорожнього покриття, м	Стаж роботи водія на автобусі, р.	Вік водія транспортного засобу, р.	Питома потужність двигуна автобуса, кВт/т	Коефіцієнт використання місткості	Коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою	Довжина перегону, км	Швидкість транспортного потоку, км/год	Час руху між зупинковими пунктами, с	Довжина автобуса, м
1	35	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,66	0,5	1,2	19	125	16,5
2	27	67	34	6	150	4	24	12,9	0,36	0,75	0,6	25	67	9,19
3	37	86	38	6	150	6	46	18,2	0,62	0,75	0,95	38	92	13,5
4	43	12	12	2,2	70	3	30	32,6	0,25	0,1	1,17	38	98	4,8
5	37	162	29	10,35	150	21	45	9,42	0,41	0,75	0,9	40	87	16,5
6	25	13	13	2,3	30	8	42	31,4	0,77	0,4	0,6	19	85	5,5
7	41	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,52	0,5	1,1	25	97	16,5
8	33	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,49	0,5	0,9	20	99	16,5
9	28	86	38	6	150	6	46	18,2	0,43	0,75	0,3	38	138	13,5
10	36	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,3	0,5	1,1	19	111	16,5
11	27	13	13	2,3	150	1,5	50	31,4	0,54	0,5	0,3	25	40	5,5
12	41	13	13	2,3	30	8	42	31,4	1,31	0,4	1,05	38	92	5,5
13	25	13	13	2,3	30	8	42	31,4	0,69	0,4	0,3	20	44	5,5
14	23	67	34	6	150	4	24	12,9	0,31	0,75	0,6	25	95	9,19
15	28	13	13	2,3	150	1,5	50	31,4	0,92	0,5	0,6	19	77	5,5
16	56	86	38	6	150	6	46	18,2	0,21	0,75	0,62	60	40	13,5
17	31	86	38	6	150	6	46	18,2	0,53	0,75	0,78	38	92	13,5
18	27	67	34	6	150	4	24	12,9	0,13	0,75	0,5	20	67	9,19
19	46	12	12	2,2	70	3	30	32,6	1,17	0,1	1,97	38	153	4,8
20	19	12	12	2,2	70	3	30	32,6	0,67	0,1	0,17	40	33	4,8
21	23	86	38	6	150	6	46	18,2	0,37	0,75	0,31	20	49	13,5
22	36	162	29	10,35	100	38	60	9,42	0,48	0,5	1,2	19	119	16,5

## Multiple Regression Analysis

Dependent variable: Lpereg/(tmegOP/3600)

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Lpereg	20,8261	1,63756	12,7178	0,0000
kolpasper/MESTnom	-7,42591	3,58253	-2,70281	0,0433
SKOROST POTOCA	0,177479	0,0603422	2,94121	0,0049
udmosh	0,383203	0,0899048	4,26231	0,0001
Ksceptl	12,9076	2,47444	5,21635	0,0000

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	60924,7	5	12184,9	526,29	0,0000
Residual	1180,77	51	23,1523		
Total	62105,5	56			

R-squared = 98,0988 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 97,9497 percent

Standard Error of Est. = 4,81169

Mean absolute error = 3,73393

Durbin-Watson statistic = 1,25308

Lag 1 residual autocorrelation = 0,355424

Number of excluded rows: 1

Рисунок Б.1 – Параметри моделі змінювання технічної швидкості



## The StatAdvisor

-----  
 The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between

Lpereg/(tmegOP/3600) and 5 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\text{Lpereg}/(\text{tmegOP}/3600) = 20,8261 * \text{Lpereg} - 7,42591 * \text{kolpasper}/\text{MESTnom} + 0,177479 * \text{SKOROST POTOKA} + 0,383203 * \text{udmosh} + 12,9076 * \text{Kscep1}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between the variables at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98,0988% of the variability in Lpereg/(tmegOP/3600). The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 97,9497%.

(Note: since the model does not contain a constant, you should be careful in interpreting the R-Squared values. Do not compare these R-Squared values with those of models which do contain a constant.) The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 4,81169. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 3,73393 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0,0433, belonging to kolpasper/MESTnom. Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.

## Параметри простою автобусів

Таблиця В.1 – Результати обстежень параметрів простою автобусів на зупинкових пунктах та факторів, які на них впливають

Номер спостереження	Час простою на зупинкових пунктах, с	Кількість дверей автобуса, од.	Кількість проміжних зупинкових пунктів на маршруті, од.	Пасажири, осіб на перегонах маршруту, пас.	Довжина маршруту, км	Кількість місць для сидіння, од.	Номінальна місткість автобуса, пас.	Довжина автобуса, м	Коефіцієнт використання місткості автобуса	Середня дальність поїздки пасажирів, км	Коефіцієнт змінюваності пасажирів	Об'єм перевезених пасажирів за рейс одного автобуса, пас.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	19	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,66	0,5	1,2	16,5
2	25	67	34	6	150	4	24	12,9	0,36	0,75	0,6	9,19
3	38	86	38	6	150	6	46	18,2	0,62	0,75	0,95	13,5
4	38	12	12	2,2	70	3	30	32,6	0,25	0,1	1,17	4,8
5	40	162	29	10,35	150	21	45	9,42	0,41	0,75	0,9	16,5
6	19	13	13	2,3	30	8	42	31,4	0,77	0,4	0,6	5,5
7	25	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,52	0,5	1,1	16,5
8	20	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,49	0,5	0,9	16,5
9	38	86	38	6	150	6	46	18,2	0,43	0,75	0,3	13,5
10	19	162	29	10,35	150	22	42	9,42	0,3	0,5	1,1	16,5
11	25	13	13	2,3	150	1,5	50	31,4	0,54	0,5	0,3	5,5
12	20	13	13	2,3	30	8	42	31,4	0,69	0,4	0,3	5,5
13	25	67	34	6	150	4	24	12,9	0,31	0,75	0,6	9,19
14	19	13	13	2,3	150	1,5	50	31,4	0,92	0,5	0,6	5,5
15	60	86	38	6	150	6	46	18,2	0,21	0,75	0,62	13,5
16	38	86	38	6	150	6	46	18,2	0,53	0,75	0,78	13,5
17	20	67	34	6	150	4	24	12,9	0,13	0,75	0,5	9,19
18	38	12	12	2,2	70	3	30	32,6	1,17	0,1	1,97	4,8
19	40	12	12	2,2	70	3	30	32,6	0,67	0,1	0,17	4,8
20	20	86	38	6	150	6	46	18,2	0,37	0,75	0,31	13,5
21	19	162	29	10,35	100	38	60	9,42	0,48	0,5	1,2	16,5

## Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
22	35	86	38	6	150	6	46	18,2	0,28	0,75	0,61	13,5
23	20	75	22	6	150	13	47	12,48	0,15	0,5	1,1	11
24	383	4	8	44	6,3	29	162	16,5	0,37	3,8	1,66	73
25	259	3	5	15	5,3	22	75	11	0,26	2,56	2,07	31
26	269	3	5	15	5,3	22	75	11	0,23	4,95	1,07	16
27	315	2	6	15	3,4	34	67	9,19	0,22	2,31	1,47	22
28	293	2	6	21	3,4	34	67	9,19	0,32	2,3	1,48	31
29	410	4	8	53	6,5	29	162	16,5	0,34	3,44	1,89	100
30	215,7	1	4	12	7,57	12	12	4,8	0,89	6,47	1,17	14
31	104,8	1	2	6	7,74	12	12	4,8	0,45	7,74	1	6
32	96,2	1	2	14	7,57	13	13	5,5	1,12	7,07	1,07	15
33	233,8	1	6	14	7,74	12	12	4,8	0,91	7,74	1	14
34	133	1	3	13	7,57	13	13	5,5	0,89	7,01	1,08	14
35	46	1	5	14	7,74	12	12	4,8	0,95	6,4	1,21	17
36	45	1	6	14	7,74	13	13	5,5	0,97	7,23	1,07	15
37	34	1	4	10	7,57	13	13	5,5	0,68	7,57	1	10
38	22	4	4	14	7,57	29	162	16,5	0,67	7,57	1	14
39	26	1	4	13	7,74	13	13	5,5	1,06	7,74	1	13
40	19	1	4	11	7,74	12	12	4,8	0,96	7,74	1	11
41	14	1	3	10	7,74	12	12	4,8	0,97	7,74	1	10
42	111	2	2	6	4,45	38	86	13,5	0,40	4,45	1	6
43	156	1	3	15	5,8	13	13	5,5	1,01	4,83	1,2	18
44	47	4	1	13	4,45	29	162	16,5	0,98	4,45	1	13
45	99	1	2	7	5,8	13	13	5,5	0,41	5,8	1	7
46	45	1	1	10	4,45	13	13	5,5	0,75	4,45	1	10
47	372	2	27	32	24,62	38	86	13,5	0,31	12,31	2	64
48	350	1	7	13	7,74	13	13	5,5	0,89	6,73	1,15	15
49	154	1	3	19	7,57	12	12	4,8	1,11	7,57	1	19
50	318	1	6	13	7,74	12	12	4,8	0,82	6,29	1,23	16
51	218	2	5	13	7,57	34	67	9,19	0,87	6,58	1,15	15

## Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
52	238	1	4	11	7,74	13	13	5,5	0,72	6,56	1,18	13
53	268	3	3	6	7,57	22	75	11	0,42	7,57	1	6
54	248	1	4	7	6,7	13	13	5,5	0,38	5,88	1,14	8
55	149	1	3	17	6,8	13	13	5,5	0,87	6,8	1	17
56	157	3	3	7	6,7	22	75	11	0,45	6,7	1	7
57	184	1	4	14	6,8	13	13	5,5	0,93	6,8	1	14
58	107	4	2	5	6,7	29	162	16,5	0,31	6,7	1	5
59	148	1	3	11	6,8	13	13	5,5	0,51	6,8	1	11
60	235	4	5	15	5,8	29	162	16,5	1,02	5,42	1,07	16
61	104	1	2	7	4,45	13	13	5,5	0,47	4,45	1	7
62	187	3	4	15	5,8	22	75	11	0,96	4,36	1,33	20
63	62	1	1	9	4,45	13	13	5,5	0,68	4,45	1	9
64	103	1	2	10	5,8	12	12	4,8	0,66	5,8	1	10
65	96	1	2	14	4,45	13	13	5,5	1,01	4,45	1	14
66	440	2	31	47	25,29	38	86	4,8	0,44	18,33	1,38	65
67	395	4	29	41	24,31	29	162	16,5	0,32	15,58	1,56	64
68	14	1	2	15	7,57	13	13	5,5	1,1	7,57	1	15
69	41	1	5	13	7,74	13	13	5,5	0,765	7,74	1	13
70	32	2	4	14	7,57	34	67	9,19	0,952	8,8	0,86	12
71	34	3	5	14	7,74	22	75	11	0,846	7,74	1	14
72	9	1	1	15	7,57	13	13	5,5	1,1	7,57	1	15
73	57	1	8	15	7,74	12	12	4,8	0,86	7,23	1,07	16
74	23	2	4	14	7,57	34	67	9,19	1	7,57	1	14
75	30	1	5	14	7,74	12	12	4,8	0,99	7,74	1	14
76	380	4	8	44	6,3	29	162	16,5	0,90	3,8	1,66	73
77	258	4	5	15	5,3	29	162	16,5	0,26	2,56	2,07	31
78	270	1	5	15	5,3	12	12	4,8	0,22	4,95	1,07	16
79	312	1	6	15	3,4	13	13	5,5	0,27	2,31	1,47	22
80	290	2	6	21	3,4	34	67	9,19	0,35	2,3	1,48	31
81	405	4	8	53	6,5	29	162	16,5	0,38	3,44	1,89	100
82	208	1	4	12	7,57	12	12	4,8	0,91	6,47	1,17	14

## Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
83	104	3	2	6	7,74	22	75	11	0,46	7,74	1	6
84	93	1	2	14	7,57	12	12	4,8	1,13	7,07	1,07	15
85	155	1	3	15	5,8	12	12	4,8	1,01	4,83	1,2	18
86	48	4	1	13	4,45	29	162	16,5	0,92	4,45	1	13
87	100	2	2	7	5,8	34	67	9,19	0,41	5,8	1	7
88	40	1	1	10	4,45	13	13	5,5	0,8	4,45	1	10
89	371	2	27	32	24,62	38	86	13,5	0,32	12,31	2	64
90	348	1	7	13	7,74	13	13	5,5	0,88	6,73	1,15	15
91	151	1	3	19	7,57	13	13	5,5	1,12	7,57	1	19
92	397	2	29	41	24,31	38	86	4,8	0,33	15,58	1,56	64
93	311	2	6	15	3,4	34	67	9,19	0,23	2,31	1,47	22
94	234	1	4	11	7,74	13	13	5,5	0,71	6,56	1,18	13
95	106	4	2	5	6,7	29	162	16,5	0,31	6,7	1	5
96	147	1	3	11	6,8	13	13	5,5	0,53	6,8	1	11
97	236	1	5	15	5,8	12	12	4,8	1,02	5,42	1,07	16
98	109	2	2	7	4,45	34	67	9,19	0,48	4,45	1	7
99	188	1	4	15	5,8	13	13	5,5	0,96	4,36	1,33	20
100	61	1	1	9	4,45	13	13	5,5	0,78	4,45	1	9
101	106	2	2	10	5,8	38	86	13,5	0,67	5,8	1	10
102	90	2	2	14	4,45	38	86	13,5	1,02	4,45	1	14
103	444	4	31	47	25,29	29	162	16,5	0,41	18,33	1,38	65
104	113	1	2	10	5,8	13	13	5,5	0,67	5,8	1	10
105	139	1	3	13	7,57	12	12	4,8	0,87	7,01	1,08	14
106	298	2	6	21	3,4	34	67	9,19	0,31	2,3	1,48	31
107	468	4	8	53	6,5	29	162	16,5	0,35	3,44	1,89	100
108	227	1	4	12	7,57	12	12	4,8	0,90	6,47	1,17	14
109	239	2	6	14	7,74	38	86	13,5	0,92	7,74	1	14
110	164	1	3	13	7,57	12	12	4,8	0,80	7,01	1,08	14
111	45	1	5	14	7,74	12	12	4,8	0,91	6,4	1,21	17
112	158	1	3	15	5,8	13	13	5,5	1,01	4,83	1,2	18
113	48	4	1	13	4,45	29	162	16,5	0,97	4,45	1	13

## Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
114	105	1	2	7	5,8	13	13	5,5	0,41	5,8	1	7
115	41	1	1	10	4,45	13	13	5,5	0,76	4,45	1	10
116	381	2	27	32	24,62	38	86	13,5	0,32	12,31	2	64
117	239	1	4	11	7,74	13	13	5,5	0,72	6,56	1,18	13
118	265	1	3	6	7,57	13	13	5,5	0,43	7,57	1	6
119	256	1	4	7	6,7	12	12	4,8	0,39	5,88	1,14	8
120	150	2	3	17	6,8	38	86	13,5	0,85	6,8	1	17
121	152	4	3	11	6,8	29	162	16,5	0,53	6,8	1	11
122	253	1	5	15	5,8	13	13	5,5	1,02	5,42	1,07	16
123	100	3	2	7	4,45	22	75	11	0,48	4,45	1	7
124	190	1	4	15	5,8	13	13	5,5	0,97	4,36	1,33	20
125	60	1	1	9	4,45	13	13	5,5	0,64	4,45	1	9
126	15	1	2	15	7,57	12	12	4,8	1,12	7,57	1	15
127	45	4	5	13	7,74	29	162	16,5	0,77	7,74	1	13
128	31	2	4	14	7,57	38	86	13,5	0,95	8,8	0,86	12
129	38	1	5	14	7,74	13	13	5,5	0,82	7,74	1	14
130	56	1	3	15	5,8	12	12	4,8	0,99	4,83	1,2	18
131	48	1	1	13	4,45	12	12	4,8	0,91	4,45	1	13
132	349	3	7	13	7,74	22	75	11	0,84	6,73	1,15	15
133	164	1	3	19	7,57	13	13	5,5	1	7,57	1	19
134	102	2	2	5	6,7	38	86	13,5	0,31	6,7	1	5
135	197	1	4	15	5,8	13	13	5,5	0,94	4,36	1,33	20
136	65	4	1	9	4,45	29	162	16,5	0,64	4,45	1	9
137	447	2	31	47	25,29	38	86	4,8	0,4	18,33	1,38	65
138	39	1	5	14	7,74	13	13	5,5	0,85	7,74	1	14
139	8	1	1	15	7,57	13	13	5,5	1,1	7,57	1	15
140	22	1	4	14	7,57	12	12	4,8	0,97	7,57	1	14
141	29	1	5	14	7,74	12	12	4,8	0,93	7,74	1	14
142	380	4	8	44	6,3	29	162	16,5	0,37	3,8	1,66	73
143	260	3	5	15	5,3	22	75	11	0,26	2,56	2,07	31
144	413	4	8	53	6,5	29	162	16,5	0,33	3,44	1,89	100

## Закінчення таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
145	220,5	1	4	12	7,57	12	12	4,8	0,90	6,47	1,17	14
146	28	1	4	14	7,57	13	13	5,5	0,68	7,57	1	14
147	23	1	4	13	7,74	13	13	5,5	1,03	7,74	1	13
148	20	2	4	11	7,74	38	86	13,5	0,97	7,74	1	11
149	314	1	6	13	7,74	13	13	5,5	0,83	6,29	1,23	16
150	226	2	5	13	7,57	34	67	9,19	0,88	6,58	1,15	15
151	249	2	4	11	7,74	34	67	9,19	0,72	6,56	1,18	13
152	109	1	2	5	6,7	13	13	5,5	0,31	6,7	1	5
153	145	1	3	11	6,8	13	13	5,5	0,53	6,8	1	11
154	238	3	5	15	5,8	22	75	11	1,01	5,42	1,07	16
155	107	1	2	7	4,45	13	13	5,5	0,49	4,45	1	7
156	197	1	4	15	5,8	13	13	5,5	0,97	4,36	1,33	20
157	384	4	8	44	6,3	29	162	16,5	0,40	3,8	1,66	73
158	271	2	5	15	5,3	38	86	13,5	0,28	2,56	2,07	31
159	295	3	5	15	5,3	22	75	11	0,27	4,95	1,07	16
160	325	2	6	15	3,4	34	67	9,19	0,26	2,31	1,47	22
161	292	2	6	21	3,4	34	67	9,19	0,32	2,3	1,48	31
162	465	4	8	53	6,5	29	162	16,5	0,35	3,44	1,89	100
163	46	1	6	14	7,74	12	12	4,8	0,98	7,23	1,07	15
164	33	1	4	10	7,57	12	12	4,8	0,69	7,57	1	10
165	21	1	4	14	7,57	13	13	5,5	0,68	7,57	1	14
166	28	4	4	13	7,74	29	162	16,5	1,06	7,74	1	13
167	45	1	1	10	4,45	13	13	5,5	0,76	4,45	1	10
168	372	2	27	32	24,62	38	86	13,5	0,32	12,31	2	64

## Multiple Regression Analysis

Dependent variable: tprOP

Parameter	Standard Estimate	T Error	Statistic	P-Value
gama	90,2554	39,9482	2,92331	0,0294
kolOP	6,48357	1,48	4,3808	0,0001
MESTnom	1,88555	0,601899	3,13267	0,0032
Lmta/((Passpereg*	67,552	32,6584	2,60844	0,0451

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
--------	----------------	----	-------------	---------	---------

Step 0:

Model	4,52865E6	4	1,13216E6	191,70	0,0000
Residual	236239,0	40	5905,98		
Total	4,76489E6	44			

R-squared = 95,0421 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 94,6702 percent

Standard Error of Est. = 76,8504

Mean absolute error = 58,0272

Durbin-Watson statistic = 1,78377

Lag 1 residual autocorrelation = -0,00796546

## Stepwise regression

Method: forward selection

F-to-enter: 4,0

F-to-remove: 4,0

Рисунок Г.1 – Параметри моделі зміни часу простою автобусів на зупиночних пунктах



Step 0:

-----

0 variables in the model. 44 d.f. for error.

R-squared = 0,00%    Adjusted R-squared = 0,00%    MSE = 108293,0

Step 1:

-----

Adding variable Lmta/((Passpereg\*Lmta)/Qperevoz) with F-to-enter = 322,586

1 variables in the model. 43 d.f. for error.

R-squared = 88,24%    Adjusted R-squared = 87,96%    MSE = 13033,6

Step 2:

-----

Adding variable kolOP with F-to-enter = 37,9919

2 variables in the model. 42 d.f. for error.

R-squared = 93,82%    Adjusted R-squared = 93,53%    MSE = 7006,25

Step 3:

-----

Adding variable MESTnom with F-to-enter = 4,29046

3 variables in the model. 41 d.f. for error.

R-squared = 94,41%    Adjusted R-squared = 94,00%    MSE = 6497,23

Step 4:

-----

Adding variable gama with F-to-enter = 5,10449

4 variables in the model. 40 d.f. for error.

R-squared = 95,04%    Adjusted R-squared = 94,55%    MSE = 5905,98

Final model selected.

Number of excluded rows: 32

The StatAdvisor

-----  
 The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between tprOP and 4 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\text{tprOP} = 90,2554 * \text{gama} + 6,48357 * \text{kolOP} + 1,88555 * \text{MESTnom} + 67,552 * \text{Lmta} / ((\text{Passpereg} * \text{Lmta}) / \text{Qperevoz})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between the variables at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 95,0421% of the variability in tprOP. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 94,6702%. (Note: since the model does not contain a constant, you should be careful in interpreting the R-Squared values. Do not compare these R-Squared values with those of models which do contain a constant.) The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 76,8504. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 58,0272 is the average value of the

residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0,0451, belonging to  $\text{Lmta} / ((\text{Passpereg} * \text{Lmta}) / \text{Qperevoz})$ . Since the P-value is less than 0.05, that term is statistically significant at the 95% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.

**Довжина перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування, та параметри, які її визначають**

Таблиця Д.1 – Результати розрахунку середньої довжини перегону, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування за різного поєднання параметрів транспортного процесу

Номер спостереження	Коефіцієнт змінюваності	Коефіцієнт використання місткості автобуса	Коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою	Питома потужність двигуна автобуса, кВт/т	Швидкість транспортного потоку, км/год	Довжина маршруту, км	Середня відстань поїздки пасажирів, км	Номінальна місткість транспортного засобу, пас.	Щільність транспортної мережі, км/км <sup>2</sup>	Середня довжина перегону, км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	0,5	0,1	32,6	60	18	9	12	1,5	0,7
2	3	1	0,75	31,4	48	15	5	13	2	0,5
3	3,57	0,65	0,5	18,2	50	25	7	86	2	0,5
4	3	0,5	0,75	32,6	60	15	5	12	2	0,3
5	3	0,1	0,75	12,9	45	15	5	67	2	0,3
6	5	0,8	0,75	31,4	45	25	5	13	1,5	0,3
7	2,5	0,4	0,7	32,6	38	5	2	12	1,9	0,2
8	1	0,1	0,2	9,42	20	5	5	162	1,4	0,6
9	3	0,5	0,75	12,9	48	15	5	12	2,23	0,4
10	3	0,5	0,6	9,42	38	3	1	162	2	0,1
11	1,67	0,7	0,65	9,42	60	5	3	162	2	1,4
12	5	0,5	0,8	18,2	19	5	1	86	1,8	0,3
13	4,5	0,5	0,75	12,9	25	18	4	67	2,5	1,9
14	1	0,7	0,48	18,2	60	15	15	86	1,95	0,4
15	1,56	0,5	0,2	12,9	20	15	5	67	2	1,1
16	12,5	0,9	0,75	9,42	50	25	2	162	1,5	0,8
17	6,25	0,75	0,75	32,6	48	25	4	12	2	0,2

## Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
18	1,25	0,4	0,6	12,9	35	25	20	67	2	0,3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	1,67	0,7	0,6	12,48	40	5	3	75	1,95	1,5
20	7,5	0,5	0,75	12,9	20	15	2	67	1,5	0,4
21	1,67	0,7	0,6	12,48	40	5	3	75	1,95	0,3
22	3	0,5	0,2	12,9	48	15	5	12	2	0,6
23	3	1,3	0,75	12,9	50	15	5	13	2	0,6
24	1,4	0,5	0,7	12,9	48	7	5	12	1,95	0,4
25	3	0,5	0,8	12,48	19	6	2	75	2	0,2
26	3	0,48	0,8	12,9	50	15	5	12	2	0,4
27	1,2	0,5	0,75	31,4	48	6	5	12	2	0,3
28	3	0,5	0,7	9,42	50	15	5	12	2	0,4
29	3	0,48	0,8	12,9	48	15	5	162	2	0,4
30	0,4	0,7	0,5	12,9	20	2	5	67	1,8	0,3
31	4	0,75	0,8	12,9	20	8	2	67	1,8	0,2
32	3	0,5	0,75	12,9	48	15	5	12	2	0,4
33	3	0,5	0,48	12,9	45	15	5	12	2	0,5
34	2	1	0,75	31,4	35	10	5	13	1,9	0,4
35	3	0,7	0,75	12,9	48	15	5	12	2	0,4
36	7,5	0,75	0,75	32,6	45	15	2	162	1,9	0,3
37	5	0,75	0,7	32,6	48	25	5	162	2	0,3
38	3	0,6	0,8	12,9	45	15	5	12	2	0,4
39	3,6	0,5	0,8	12,9	45	18	5	13	1,9	0,4
40	3	0,5	0,75	18,2	48	15	5	12	2	0,4
41	3	0,5	0,75	12,9	45	15	5	162	2	0,3
42	4,6	0,5	0,7	12,9	45	23	5	86	2	0,4
43	1	0,6	0,75	12,9	48	15	15	12	2	1,1

## Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
44	3,8	0,5	0,7	12,9	48	19	5	12	1,95	0,4
45	5	0,5	0,75	12,9	48	5	1	12	2	0,1
46	3	0,5	0,75	32,6	57	15	5	76	2	0,3
47	25	0,48	0,5	32,6	57	25	1	76	2	0,1
48	4	0,1	0,8	12,9	60	20	5	12	2	0,3
49	3	0,5	0,75	12,9	60	15	5	12	2,23	0,4
50	2,14	0,5	0,8	12,9	55	15	7	12	1,95	0,4
51	4	0,75	0,6	31,4	19	8	2	13	1,9	0,2
52	1,67	0,7	0,6	18,2	19	5	3	86	1,9	0,2
53	4	0,5	0,7	9,42	35	8	2	162	2	0,2
54	3	0,5	0,7	9,42	60	15	5	12	2	0,4
55	3	0,5	0,7	12,9	55	15	5	162	2	0,4
56	1,56	0,5	0,75	12,9	50	25	16	12	2	1,6
57	23	0,1	0,75	32,6	57	23	1	162	1,9	0,1
58	5	0,5	0,75	31,4	48	25	5	162	2	0,3
59	3	0,5	0,75	12,9	55	15	5	12	1,9	0,4
60	3	0,5	0,48	12,9	60	15	5	13	2	0,5
61	2,14	0,7	0,75	12,9	57	15	7	12	2	0,4
62	3	0,5	0,75	12,9	38	15	5	86	2	0,5
63	3	0,5	0,7	12,9	57	15	5	12	2	0,4
64	3,2	0,5	0,75	12,9	60	16	5	12	1,95	0,4
65	2,14	0,5	0,75	18,2	57	15	7	12	2	0,3
66	3,2	0,5	0,75	12,9	57	16	5	162	2	0,4
67	3,2	0,5	0,8	12,9	57	16	5	86	2	0,4
68	1	0,48	0,8	12,9	60	15	15	12	2	1
69	3	0,7	0,7	31,4	60	15	5	162	2	0,3
70	6	0,75	0,6	12,48	19	6	1	75	2	0,2

## Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
71	3	0,5	0,2	12,9	38	15	5	12	2	0,7
72	3	1,3	0,75	12,9	40	15	5	13	1,95	0,6
73	9	0,1	0,75	12,9	40	18	2	12	2	0,4
74	3	0,5	0,75	12,9	20	15	5	162	2	0,6
75	3,75	0,5	0,75	12,9	35	15	4	12	1,95	0,5
76	3,2	0,48	0,75	12,9	38	16	5	12	2	0,5
77	5	0,5	0,75	32,6	60	25	5	162	2	0,3
78	2,5	0,5	0,7	12,9	35	15	6	12	1,8	0,5
79	3,2	0,5	0,75	31,4	38	16	5	13	2	0,3
80	3,6	0,5	0,75	9,42	35	18	5	12	2	0,5
81	3	0,48	0,75	12,9	38	15	5	162	2	0,5
82	5	0,5	0,7	12,9	38	25	5	12	1,9	0,5
83	1	0,48	0,75	12,9	35	5	5	12	2	0,5
84	3	0,5	0,75	12,9	38	15	5	12	2	0,5
85	3	0,48	0,8	12,9	19	15	5	86	1,9	0,5
86	3	1	0,75	12,9	38	15	5	12	2	0,6
87	3	0,7	0,75	12,9	38	15	5	12	2	0,5
88	5	0,5	0,8	12,9	35	10	2	12	1,4	0,5
89	3	0,5	0,8	12,9	38	15	5	12	2,5	0,5
90	2	0,48	0,75	12,9	40	10	5	162	2	0,5
91	3	0,5	0,75	12,9	38	15	5	13	2	0,5
92	3	0,5	0,75	32,6	40	15	5	12	1,9	0,3
93	3,75	0,5	0,8	18,2	38	15	4	12	2	0,4
94	2,5	0,7	0,5	12,9	20	5	2	67	1,8	0,3
95	2	0,5	0,75	12,9	38	10	5	12	2,23	0,5
96	1	0,6	0,8	12,9	38	15	15	12	2	1,2
97	3	0,5	0,75	12,9	19	15	5	162	2	0,5

## Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
98	5	1,3	0,75	31,4	55	25	5	75	2	0,3
99	5	0,5	0,7	12,9	19	5	1	13	1,95	0,1
100	3	1	0,75	12,9	20	15	5	12	2	0,7
101	3	0,7	0,75	12,9	19	15	5	12	2	0,6
102	3,2	0,5	0,7	12,9	20	16	5	12	2	0,5
103	4,6	0,5	0,75	32,6	48	23	5	162	1,5	0,3
104	2	0,6	0,75	18,2	20	10	5	12	2	0,5
105	2,5	0,7	0,5	12,9	38	5	2	67	1,8	0,2
106	2,5	0,5	0,7	12,9	35	15	6	12	2	0,5
107	3	0,5	0,75	12,9	40	15	5	12	2	0,5
108	5	0,75	0,7	31,4	48	25	5	162	2	0,3
109	3,8	0,48	0,75	12,9	19	19	5	12	1,9	0,5
110	3	0,5	0,62	12,9	25	15	5	13	2	0,6
111	15	1,3	0,75	12,9	19	15	1	12	2	0,8
112	2,5	0,7	0,65	9,42	60	5	2	162	2	0,2
113	3	0,5	0,75	12,9	19	15	5	12	1,4	0,5
114	3	0,1	0,75	12,9	25	15	5	12	2	0,5
115	3,2	0,48	0,75	12,9	19	16	5	12	1,95	0,5
116	2,5	0,7	0,6	12,48	57	5	2	75	1,95	0,2
117	3,2	0,65	0,8	31,4	19	16	5	12	2	0,4
118	7,5	0,5	0,8	9,42	20	15	2	12	1,9	0,6
119	3	0,5	0,7	12,9	19	15	5	13	2	0,5
120	3	0,65	0,75	31,4	60	15	5	12	2	0,3
121	1	0,5	0,75	12,9	19	5	5	12	2	0,5
122	5	0,6	0,75	12,9	57	25	5	12	1,9	0,4
123	1	0,5	0,7	12,9	50	5	5	13	2	0,4
124	1	0,5	0,8	12,9	25	15	15	12	2	1,3

## Закінчення таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
125	2,5	0,7	0,8	9,42	40	5	2	162	1,8	0,2
126	2	0,4	0,7	32,6	60	6	3	12	2	0,2
127	3	0,5	0,75	12,9	48	15	5	12	2	0,4
128	3,75	0,65	0,75	32,6	19	15	4	12	2	0,3
129	3	0,5	0,75	32,6	48	15	5	76	1,95	0,3
130	3	0,5	0,2	12,9	57	15	5	12	2	0,6
131	3	1,3	0,75	12,9	57	15	5	13	1,95	0,5
132	3,8	0,6	0,75	12,9	38	19	5	12	2	0,5
133	5	0,5	0,75	12,9	38	5	1	12	2	0,1
134	4	0,7	0,65	32,6	57	8	2	13	1,95	0,2
135	5	0,5	0,75	12,9	19	25	5	12	2	0,5
136	3	0,5	0,7	12,9	48	15	5	13	1,4	0,4
137	3,6	0,5	0,75	12,9	48	18	5	12	2,5	0,4
138	1	0,6	0,7	12,9	48	5	5	12	2	0,4
139	3,2	0,5	0,8	12,9	57	16	5	13	2	0,4
140	4,6	0,5	0,75	12,9	57	23	5	13	2	0,4
141	5	0,5	0,75	12,9	45	25	5	12	1,95	0,4
142	15	0,5	0,8	12,9	25	15	1	12	2	0,5
143	3	0,5	0,75	12,9	19	15	5	12	1,9	0,5
144	2	0,7	0,6	9,42	57	6	3	162	2	0,3
145	5	0,5	0,75	12,9	20	5	1	13	1,9	0,1
146	4	0,5	0,75	32,6	19	8	2	12	2	0,1
147	5	0,7	0,75	9,42	20	5	1	162	1,95	0,2
148	3	0,5	0,7	12,9	60	15	5	12	1,4	0,4
149	3,2	0,6	0,75	12,9	57	16	5	12	2,5	0,4
150	3,8	0,5	0,75	12,9	60	19	5	13	2	0,4
151	5	0,5	0,75	12,9	57	5	1	13	2	0,1



## Multiple Regression Analysis

Dependent variable: MIN Lneregona

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
GAMMA	0,260832	0,0248452	10,4983	0,0000
Lcp noezdka	0,0709816	0,00135782	52,276	0,0000
Vnotoka	-0,00271121	0,000356237	-7,61069	0,0000
MOSHNOT/qH	-0,0363114	0,00897571	-4,04552	0,0001
Lm/Lcp noezdka	0,0323455	0,00544949	5,93551	0,0000

## Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	38,1176	5	7,62353	1912,66	0,0000
Residual	0,462356	116	0,00398582		
Total	38,58	121			

R-squared = 98,8016 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 98,7602 percent

Standard Error of Est. = 0,0631334

Mean absolute error = 0,04664

Durbin-Watson statistic = 1,69899

Lag 1 residual autocorrelation = 0,111815

## Stepwise regression

Рисунок Е.1 – Параметри моделі зміни середньої довжини перегону

-----  
 Method: forward selection

F-to-enter: 4,0

F-to-remove: 4,0

Step 0:

0 variables in the model. 121 d.f. for error.

R-squared = 0,00%    Adjusted R-squared = 0,00%    MSE = 0,318843

Step 1:

Adding variable Lcp noezdka with F-to-enter = 2828,42

1 variables in the model. 120 d.f. for error.

R-squared = 95,93%    Adjusted R-squared = 95,90%    MSE = 0,013085

Step 2:

Adding variable GAMMA with F-to-enter = 121,204

2 variables in the model. 119 d.f. for error.

R-squared = 97,98%    Adjusted R-squared = 97,95%    MSE = 0,00653693

Step 3:

Adding variable Vnotoka with F-to-enter = 30,9523

3 variables in the model. 118 d.f. for error.

R-squared = 98,40%    Adjusted R-squared = 98,36%    MSE = 0,00522244

Step 4:

Adding variable Lm/Lcp noezdka with F-to-enter = 19,6615

4 variables in the model. 117 d.f. for error.

R-squared = 98,63%    Adjusted R-squared = 98,59%    MSE = 0,0045093

Step 5:

Adding variable MOSHNOST/qH with F-to-enter = 16,3662

5 variables in the model. 116 d.f. for error.

R-squared = 98,80%    Adjusted R-squared = 98,75%    MSE = 0,00398582

Final model selected.

Number of excluded rows: 31

The StatAdvisor

-----  
 The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between MIN Lneregona

and 5 independent variables. The equation of the fitted model is

$$\text{MIN Lneregona} = 0,260832 * \text{GAMMA} + 0,0709816 * \text{Lcp noezdka} - 0,00271121 * \text{Vnotoka} - 0,0363114 * \text{MOSHNOT/qH} + 0,0323455 * \text{Lm/Lcp noezdka}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between the variables at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98,8016% of the variability in MIN Lneregona. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 98,7602%. (Note: since the model does not contain a constant, you should be careful in interpreting the R-Squared values. Do not compare these R-Squared

values with those of models which do contain a constant.) The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0,0631334. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Reports option from the text menu. The mean absolute error (MAE) of 0,04664 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file.

In determining whether the model can be simplified, notice that the highest P-value on the independent variables is 0,0001, belonging to MOSHNOST/qH. Since the P-value is less than 0.01, the highest order term is statistically significant at the 99% confidence level. Consequently, you probably don't want to remove any variables from the model.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. И.С. Ефремов Теория городских пассажирских перевозок / Ефремов И.С., В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – Москва.: Высшая школа, 1980. – 535 с.
2. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92\*\*. – [Чинний від 2002-043-19]. – Київ.: ДП «Укрархбудінформ», – 2002. – 92 с. – (Національний стандарт України).
3. Пассажирские автомобильные перевозки / [Афанасьев Л.Л., Воркут А. И., Дьяков А.Б. и др.]. – Москва.: Транспорт, 1986. – 220 с.
4. Касумов Ф.А. Исследование транспортно-планировочных факторов, определяющих затраты времени на передвижение: дисс. ... канд. техн. наук.: 05.21.02– Фарид Ахметович Касумов. – Л., 1973. – 165 с.
5. Пустовойтов Б.Н. Пути увеличения скоростей движения городского пассажирского транспорта и сокращение затрат времени населения на передвижение / Б.Н. Пустовойтов // Пути увеличения скоростей движения городского пассажирского транспорта и сокращение затрат времени населения на передвижение.: – Москва., 1972. – С. 4–6.
6. Симонян Д.Р. Пути увеличения скорости движения пассажирского транспорта с целью сокращения затрат времени населения на передвижение / Д.Р.Симонян // Совершенствование технико-эксплуатационных показателей в автомобильном транспорте. – Ереван: Айастан, 1974. – С. 15–23.
7. Кудрявцев О.К. Расселение и планировочная структура крупных городов-агломераций / Кудрявцев О.К. – Москва.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
8. Арак А. Социально-экономическая эффективность пассажирских перевозок / А. Арак – Таллинн: Ээсти раамат, 1982. – 198 с.
9. Гюлев Н.У. К определению снижения производительности труда пассажиров после их поездки на городском пассажирском транспорте / Н.У. Гюлев, В.К. Доля, В.М. Бережной // Городской автотранспорт в новых условиях. – Пенза, 1990. – С. 33–35.
10. Зильберталь А.Х. Трамвайное хозяйство / Зильберталь А.Х. – Москва. – Л.: Гострансиздат, 1932. – 304 с.
11. Давидич Ю.А. Разработка мероприятий по сокращению времени ожидания пассажирами городских маршрутных автобусов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 – Давидич Юрий Александрович. – Харьков, 1993. – 180 с.

12. Артынов А.П. Формализация некоторых методов диспетчерского управления городского пассажирского транспорта / А.П. Артынов, Л.А. Воронов, Е.И. Скалецкая, В.В. Скалецкий // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 3-14.

13. Ахундов Р.М. Исследование путей совершенствования перевозок пассажиров автобусами в системе «Город-пригород»: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 / Р.М. Ахундов. – М., 1978. – 168 с.

14. Васильченко А.И. Об оптимизации основных параметров работы городского пассажирского транспорта / А.И. Васильченко, В.В. Толкач // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 38–44.

15. Воловиков Г.А. Основные задачи математического обеспечения алгоритма поиска оптимального расписания движения городского пассажирского транспорта / Г.А. Воловиков, А.С. Орлов // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 153–156.

16. Левченко Л.В. Разработка комплекса математических моделей и алгоритмов эффективного управления городским общественным транспортом: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.06 / Л.В. Левченко. – Харьков, 1981. – 135 с.

17. Павленко Г.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением городского транспорта / Павленко Г.П., Половников В.С., Лопатин А.П. – М.: Транспорт, 1979. – 207 с.

18. Раскин Е.М. Экономико-математическая модель определения структуры ресурса подвижного состава на маршрутах ПАТП / Е.М. Раскин, П.Б. Хейфец // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 79–82.

19. Ефанова Л.М. К вопросу о рациональном выборе моментов времени начала кругорейсов на маршруте / Л.М. Ефанова, В.С. Половников, Е.М. Раскин // Вопросы проектирования автоматизированных систем управления транспортом. – Омск: Западно-сибирское книжное изд-во. Омское отделение, 1976. – Вып.2. – С. 133–124.

20. Кривошеенко Ю.В. Организация оперативного управления движением городских автобусов с учетом закономерностей прибытия пассажиров на остановочные пункты: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.10 / Кривошеенко Юрий Васильевич. – М.: МАДИ, 1982. – 167 с.
21. Артынов А.П. Моделирование пассажирских перевозок на городском транспорте в пиковые периоды / А.П. Артынов, О.В. Зенкин. – Владивосток, 1985. – 40 с. (Препр. / ИАПУ ДВНЦ АН СССР; №19 (148)).
22. Артынов А.П. О некоторых критериях оптимального функционирования систем городского пассажирского транспорта / А.П. Артынов // Управление и информация. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1974. – Вып.13. – С. 63–74.
23. Кальней Г.И. Один подход к расчету интервала движения подвижного состава на маршруте / Г.И. Кальней // Автоматизированные системы управления и технические средства. Омск: Западно-сибирское книжное издательство. Омское отделение. – 1973. – Вып.1. – С. 136–139.
24. Антошвили М.Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / Антошвили М.Е., Либерман С.Ю., Спирин И.В. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
25. Антошвили М.Е. Исследование некоторых вопросов организации перевозок пассажиров автобусами в городах: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.10 / Михаил Евгеньевич Антошвили. – М.: МАДИ, 1973. – 159 с.
26. Антошвили М.Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / Антошвили М.Е., Варелуполо Г.А., Хрущев М.В. – М.: Транспорт, 1974, 103 с.
27. Фишельсон М.С. Критерии оценки качественного уровня работы городского пассажирского транспорта / Фишельсон М.С. – Л.: ЛДНТП, 1979. – 27 с.
28. Блинкин М.Я. Модифицированная схема Зильберталя: построение, анализ, применение / М.Я. Блинкин, Г.А. Гуревич // Совершенствование перевозок пассажиров автомобильным транспортом. – М.: НИИАТ, 1981. – Вып.5. – С. 16–32.
29. Блинкин М.Я. Количественная оценка повышения регулярности движения на городских маршрутах / М.Я. Блинкин, С.Х. Хапов // Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Сер.3. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. – 1982. – Вып.7. – С. 13–16.

30. Блинкин М.Я. Оценка типовых мероприятий по текущему планированию и оперативному управлению автобусными перевозками / М.Я. Блинкин, Г.А. Гуревич, А.А. Михайлов // Пассажирыские перевозки автомобильным транспортом. Сер.3. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. – 1982. – Вып.1. – С. 9–18.
31. Girard J. Les études sur l'irrégularité des lignes d'autobus / J. Girard, E. Heurgon, N. Cornet, J.-L. Doras // Transport, environnement, circulation. – 1983. – №56. – P. 16–22.
32. Powel W. A probabilistic model of bus route performance / W. Powel, Y. Sheffi // Transportation science. – 1983, 17, №4. – P. 376–404.
33. Пассажирыские автомобильные перевозки / [Гудков В.А., Миротин Л.Б., Вельможин А.В., Ширяев С.А.]. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2004. – 448 с.
34. Joliff J. A behavioral explanation of the associations between bus and passenger arrivals a bus – stop / J. Joliff, T. Hutchinson // Transportation research. – 1975. – Vol.9, №3. – P. 218–282.
35. Щетина В.Л. Пути повышения качества обслуживания пассажиров на городском транспорте / В.Л. Щетина // Городской пассажирский транспорт. – Л.: Наука, 1988. – С. 64–70.
36. Блатнов М.Д. Пассажирыские автомобильные перевозки / Блатнов М.Д. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с.
37. Спирин И.В. Организация и управление пассажирыскими автомобильными перевозками / Спирин И.В. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
38. Крамаренко И.Г. Рекомендации по планированию перевозок пассажиров автобусами в городе / И.Г. Крамаренко, С.Л. Голованенко – Харьков: НТО Автомобильного транспорта и дорожного хозяйства, 1982. – 43 с.
39. Шлиппе И.И. Исследование закономерностей распределения пассажиропотоков на внутригородских автобусных маршрутах: дисс. ... канд. экон. наук: спец. 08.00.05 / Шлиппе Ирина Игоревна. – М.: МАДИ, 1977. – 220 с.
40. Султанов Ф.Ю. Вопросы организации работы общественного пассажирского транспорта в городах с применением математических методов и ЭВМ: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.22.10 / Ф.Ю. Султанов. – Киев, 1971. – 20 с.
41. Кравченко Е.А. Пути улучшения обслуживания пассажиров в часы пик / Е.А. Кравченко // Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. Сер. пассажирыские перевозки автомобильным транспортом. – М., 1976. – 36 с.

42. Балоян Г.Г. Организация работы городского пассажирского транспорта с учетом суточной неравномерности перевозок / Г.Г. Балоян, А.А. Михайлов, Г.В. Тхайцукова // Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Сер.3. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. – 1982. – Вып.1. – С. 1–8.
43. Крылов Б. Решение проблемы часов пик в городских автобусных перевозках / Б. Крылов, В. Серегин // Автомобильный транспорт. – 1962. – №8. – С. 11–14.
44. Огай В.С. Модели анализа пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.01 / В.С. Огай. – Томск, 1978. – 168 с.
45. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом / [Голованенко С.Л., Крамаренко И.Г., Перфильев В.В., Сословский В.Г.]. – Киев: Техника, 1981. – 167 с.
46. Юдин В.А. Городской транспорт / В.А. Юдин, Д.С. Самойлов. – М.: Стройиздат, 1975. – 287 с.
47. Таранов А.Т. Перевозки пассажиров автомобильным транспортом / Таранов А.Т. – М.: Транспорт, 1972. – 316 с.
48. Организация перевозок пассажирским автомобильным транспортом / [Штанов В.Ф., Подберезкин Г.А., Ищенко В.А., Чумаченко А.И.]. – К.: Техника, 1988. – 94 с.
49. Дуднев Д.И. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом / Дуднев Д.И., Климова М.И., Менн А.А. – М.: Транспорт, 1974. – 296 с.
50. Рогова Г.А. Моделирование выбора путей передвижения пассажиров в транспортных системах городов: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.02 “Эксплуатация автомобильного транспорта” / Г.А. Рогова. – М.: АКХ им. К.Д. Панфилова, 1987. – 19 с.
51. Джаваршейшвили Т.М. Опыт разработки и перспективы развития Тбилисской пассажирской транспортной системы / Джаваршейшвили Т.М., Цомая Г.Г., Цулукидзе Т.В. – Тбилиси: О.И. Груз. НИИНТИ, 1982. – 36 с.
52. Коцюк А.Я. Совершенствование автобусных маршрутных систем в крупных и крупнейших городах: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.01 “Эксплуатация автомобильного транспорта” / А.Я. Коцюк. – Киев, 1990, 20 с.



53. Отдельнова Е.Е. Совершенствование маршрутной транспортной системы крупных городов / Е.Е. Отдельнова // Вопросы организации работы и развития городского пассажирского транспорта. – М.: ИКП при Госплане СССР. – 1973. – Вып.41. – С. 141–152.

54. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок в крупнейших городах: автореф. дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.22.10 “Эксплуатация автомобильного транспорта” / В.К. Доля. – М., 1993. – 42 с.

55. Вдовиченко В.О. Ефективність функціонування міської пасажирської транспортної системи: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.01 “Транспортные системы” / В.О. Вдовиченко. – К.: НТУ, 2004. – 20 с.

56. Вейцман В.М. Разработка рациональных схем городских автобусных маршрутов: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 “Эксплуатация автомобильного транспорта” / В.М. Вейцман. – М., 1987. – 20 с.

57. Спирин И.В. Прогрессивные методы транспортного обслуживания в больших городах / И.В. Спирин, С.Ю. Либерман // Обзорная информация «Проблемы больших городов». – М.: ГОСИНТИ, 1981. – Вып.2. – 26 с.

58. Бандзеладзе Г.В. Оценка комфортности систем общественного транспорта (обзор) / Бандзеладзе Г.В. – М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1974. – 44 с.

59. Менн А.А. Пути улучшения перевозок пассажиров городским автобусным транспортом в часы пик / А.А. Менн // Обзорная информация ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. Сер. пассажирские перевозки автомобильным транспортом. – М. 1977. – 60 с.

60. Токарев А.А. Факторы, влияющие на эффективность работы городских автобусов / А.А. Токарев, Э.И. Наркевич // Комплексное развитие автомобильного транспорта крупных городов на примере г. Москвы. – М., 1981. – С. 110–111.

61. Гончаренко В. Определение оптимальной плотности маршрутной сети и подвижного состава на маршрутах в малых городах / В. Гончаренко // Автомобильный транспорт. – 1973. – №10. – С. 18–19.

62. Сарычев А.В. Выбор вместимости автобуса для внутригородских маршрутных перевозок / А.В. Сарычев // Совершенствование перевозок пассажиров автомобильным транспортом. – М.: НИИАТ, 1979. – С. 63–73.

63. Эткин Д.М. Об определении рациональных областей применения городских автобусов / Д.М. Эткин // Автомобильный транспорт. – 1966. – №4. – С. 10–12.

64. Эткин Д.М. Об оптимизации состава автобусного парка для перевозки пассажиров в городах / Д.М. Эткин, Н.А. Кучерова // Комплексное развитие автомобильного транспорта крупных городов на примере г. Москвы. – М., 1981. – С. 85–86.

65. Гольдштейн А. Выбор автобусов для городских маршрутов / А. Гольдштейн // Автомобильный транспорт Казахстана. – 1963. – №10. – С. 31–32.

66. Кадырходжаева М.А. Моделирование процесса внутригородских пассажирских перевозок и выбор оптимальных транспортных средств: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 08.00.13 / М.А. Кадырходжаева. – Ташкент: Ташкентский ин-т нар. хоз-ва, 1987. – 160 с.

67. Корабельников В.З. Расчет количества и выбор марки автобуса по результатам неполного обследования маршрутов / В.З. Корабельников // Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Сер.3. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. – 1982. – Вып.9. – С. 14–18.

68. Кочура С.Н. Перспективный выбор экономически оптимального подвижного состава для крупного города с учетом распределения по маршрутам / С.Н. Кочура, В.И. Попченко // (Препр. / АН СССР. Ин-т кибернетики; 74–31). – К., 1974. – 36 с.

69. Давидич Ю.А. Об одной математической модели определения оптимального количества автобусов на городских маршрутах / Ю.А. Давидич, В.К. Доля, Н.А. Нефедов, И.Д. Серых. – К., 1987. – 4с. – Деп. в УкрНИИНТИ 27.01.87, №498 – Ук87.

70. Антошвили М.Е. Определение потребного количества подвижного состава для работы на городских автобусных маршрутах / М.Е. Антошвили, И.В. Спирин // Научно-технический реферативный сборник, №10. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1975. – 15 с.

71. Яровой А. Методика распределения автобусов по маршрутам перевозок при помощи математических методов программирования / А. Яровой, В. Мандрица, С. Калдыбаев // Автомобильный транспорт Казахстана. – 1967. – №12. – С. 5–8.

72. Спирин И.В. Распределение подвижного состава по городским автобусным маршрутам / И.В. Спирин // Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. Сер. пассажирские автомобильные перевозки. – М., 1976. – 38 с.

73. Воронин А.В. Выбор маршрутов-кандидатов для перераспределения подвижного состава между маршрутами с использованием ПП ЭВМ / А.В. Воронин, В.К. Доля // Повышение эффективности транспортного комплекса. – Омск: СибАДИ, 1989. – С. 114–115.
74. Спирин И.В. Исследование вопросов выбора и распределения подвижного состава для работы на городских автобусных маршрутах: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.22.10 “Эксплуатация автомобильного транспорта” / И.В. Сирин. – М.: НИИАТ, 1979. – 175 с.
75. Управление пассажирским автотранспортом / [Рева В.М., Лигум Ю.С., Вайншток М.А., Ситников В.Е.]. – Киев: Техника, 1985. – 167 с.
76. Спирин И.В. Некоторые вопросы резервирования подвижного состава на городском автобусном транспорте / И.В. Спирин // Повышение эффективности эксплуатации городского транспорта и качества дорожных работ. – М.: НИИАТ, 1979. – С. 23–28.
77. Володин Е.П. Организация и планирование перевозок автомобильным транспортом / Е.П. Володин, Н.И. Громов. – М.: Транспорт, 1982. – 224 с.
78. Либерман С.Ю. Исследование и разработка методов рациональной организации движения автобусов на городских маршрутах: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 / С.Ю. Либерман. – М.: МАДИ, 1978. – 180 с.
79. Серегин В.И. Составление расписаний движения городских автобусов / Серегин В.И. – М.: Автотрансиздат, 1962 – 60 с.
80. Ротарь В.Г. Вопросы разработки моделей и алгоритмов оптимизации планов движения на маршрутах городского пассажирского транспорта: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.01 / В.Г. Ротарь. – Томск: Томский политех. ин–т им. С.М. Кирова, 1978. – 205 с.
81. Томилин А.И. Организация движения трамвая и троллейбуса / Томилин А.И. – М.: Издательство литературы по строительству, 1969. – 240 с.
82. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Варелопуло Г.А. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.
83. Кулиев Т.Д. Повышение эффективности системы обеспечения регулярности и точности движения автобусов на городских маршрутах: дисс. ... канд. техн. наук. / Кулиев Т.Д. – М., 1986. – 162 с.
84. Блинкин М.Я. Выполнение расписания движения автобусов и сложность маршрута / М.Я. Блинкин, П.Б. Хейфец // Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Сер.3. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1982. – Вып.12. – С. 1–9.

85. Гуревич Г.А. Диалоговая процедура составления маршрутных расписаний с помощью микро-ЭВМ / Г.А. Гуревич, Ю.М. Рапопорт // Совершенствование организации и управления перевозочным процессом на пассажирском автомобильном транспорте. – М.: НИИАТ, 1988. – С. 91–99.
86. Логинов В.Н. Выбор рационального варианта организации скоростного движения автобусов на городском маршруте / В.Н. Логинов, М.В. Хрущев // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 142–151.
87. Артемов С.П. Перевозки пассажиров автомобильным пассажирским транспортом / С.П. Артемов, М.Д. Блатнов. – М.: Транспорт, 1970. – 248 с.
88. Мун Э.Е. Организация перевозок пассажиров маршрутными такси / Э.Е. Мун, А.Д. Рубец. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.
89. Малышев А.И. Совершенствование планирования и организации автомобильных перевозок / Малышев А.И. – М.: Транспорт, 1965. – 165 с.
90. Таранов А.Т. Пути развития перевозок пассажирским автомобильным транспортом / Таранов А.Т. – М.: Автотранс. издат., 1980. – 86 с.
91. Лигум Ю.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами пассажирского автомобильного транспорта / Лигум Ю.С. – К.: Техника, 1989. – 240 с.
92. Павленко Г.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением городского транспорта / Павленко Г.П., Половников В.С., Лопатин А.П. – М.: Транспорт, 1979. – 207 с.
93. Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог. Госкомитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР. ЦНИИП градостроительства. – М. 1968. Вып. 1.
94. Васильченко А.И. Об оптимизации основных параметров работы городского пассажирского транспорта / А.И. Васильченко, В.В. Толкач // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 38-44.
95. Аникст М.Т. Моделирование работы городского пассажирского транспорта / М.Т. Аникст, А.П. Артынов, В.В. Скалецкий // Управление и информация. - Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1974. – Вып.13. – С. 84–94.

96. Шульга Ю.Н. Объемные стохастические сети и их приложения к моделированию транспортных процессов / Шульга Ю.Н. – К.: 1986. – 37 с. (Препр. / АН УССР; 86–10.).
97. Сурков Ф.А. Об имитационной математической модели транспортного маршрута / Ф.А. Сурков, В.В. Новиков // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 111–112.
98. William C. Jordan Tuphuist. Zone scheduling of bus routes to improve service reliability / William C. Jordan, A. Mark // Transportation science. – 1979. – Vol.13, №3. – P. 242–267.
99. Шульга Ю.Н. Определение количества подвижного состава для маршрутов городского пассажирского транспорта / Ю.Н. Шульга, В.В. Овчаренко // Экономика и математические методы. – 1971. – Вып.3. – Т.7. – С. 72–77.
100. Артынов А.П. Имитация движения поездов на сети городского пассажирского транспорта / А.П. Артынов, А.И. Васильченко, В.В. Скалецкий // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 106–114.
101. Балясникова Р.М. О выборе параметров диспетчерского управления городским пассажирским транспортом / Р.М. Балясникова // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 50–56.
102. Раскин Е.М. Аналитическая модель времени ожидания на маршрутизированном транспорте / Е.М. Раскин // Вопросы проектирования автоматизированных систем управления транспортом. – Омск: Западно-сибирское книжное издательство. Омское отделение, 1976. – Вып.2 – С. 90–96.
103. Бурковский В.Л. Моделирование и анализ схем организации движения городского пассажирского транспорта: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.10 / Виктор Леонидович Бурковский. – Томск, 1976. – 161 с.
104. Насретдинов К.Б. Экономико-математические модели планирования и организации работы пассажирского транспорта в городах / Насретдинов К.Б. – Ташкент: Фан, 1987. – 108 с.

105. Аникст М.Т. Моделирование и оптимизация работы пассажирского транспорта на маршрутной сети города / М.Т. Аникст, А.В. Пупычев // Экономико-математические методы планирования и управления в системе городского хозяйства. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 43–61.
106. Платонов Г.А. Постановка задачи оптимизации и моделирования работы городского транспорта в часы пик / Г.А. Платонов, М.А. Файнберг // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 137–139.
107. Powel W. A probabilistic model of bus route performance / W. Powel, Y. Sheffi // Transportation science. – 1983, 17, №4. – P. 376–404.
108. Воркут А.И. Моделирование процессов накопления грузов и пассажиров в транспортных системах / Воркут А.И. – Киев: Знание, 1977. – 24 с.
109. Рубец А.Д. Исследование на ЭВМ движения автобуса по маршруту в условиях применения средств связи и АСДУ / А.Д. Рубец // Системы управления автомобильным транспортом. – М.: НИИАТ, 1978. – Вып.2. – С. 70–80.
110. Половников В.С., Ольховский С.Ю. Определение среднего времени ожидания пассажира / В.С. Половников // Вопросы проектирования автоматизированных систем управления транспортом. – Омск: Западно-сибирское книжное издательство. Омское отделение. – 1976. – Вып.2. – С. 82–89.
111. Аникст М.Т. Исследование задачи оптимального выбора параметров расписания для одиночного маршрута городского пассажирского транспорта / М.Т. Аникст, А.В. Пупычев // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 66–85.
112. Кальней Г.И. Некоторые вопросы оптимального функционирования городского пассажирского транспорта / Г.И. Кальней // Автоматизированные системы управления и технические средства. – Омск: Западно-сибирское книжное издательство. Омское отделение, 1973. – Вып.1. – С. 130–135.
113. Амирова Л.И. Определение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта методами имитационного моделирования / Л.И. Амирова, А.П. Артынов, А.П. Васильченко // Экономико-математические методы планирования и управления в системе городского хозяйства. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 37–42.

114. Шабалин Б.А. Обеспечение надежности исполнения заданного расписанием режима движения автобусов городских маршрутов: дисс. ... канд. техн. наук. / Шабалин Б.А. – М., 1984. – 134 с.
115. Артынов А.П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами / А.П. Артынов, В.В. Скалецкий. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
116. Foti G. Un modello stocastico dell'irregolarita nelle reti di trasporto pubblico urbano / G. Foti, E. Morello, F. Piglione // Atti dell giornate di lavoro. – 1983, 26-28 set. – P. 349–365.
117. Артынов А.П. Имитационная модель функционирования городского пассажирского транспорта / А.П. Артынов, В.В. Скалецкий, В.В. Толкач // Управление и информация. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1974. – Вып.13. – С. 95–101.
118. Лопатин А.П. Задача построения идеального плана удовлетворения потребности городского населения в передвижениях / А.П. Лопатин, В.В. Домбровский, Г.А. Нудельман, В.Г. Черныш // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦАН СССР, 1976. – С. 86–96.
119. Федюнин Ю.П. Моделирование процесса движения городского маршрутизированного транспорта с применением аналоговых вычислительных машин / Ю.П. Федюнин, К.А. Груличко // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток: ИАПУ ДНВЦ АН СССР, 1977. – С. 142–144.
120. Gurta A. Simulation model for optimal frequency of buses on a route a case study / A. Gurta, P. Vrat // Scientific management of transport systems. – 1981. – P. 225-234.
121. Грачев В.А. Выбор оптимального числа контрольных пунктов на маршруте / В.А. Грачев, В.С. Половников, А.П. Лопатин, С.В. Броницкая // Применение математических методов в экономических исследованиях и планировании. Труды семинара. – Киев: Институт кибернетики АН СССР, 1969. – Вып.3. – С. 72–78.
122. Lesley L.J.S. The role of timetable in maintaining bus service reliability / L.J.S. Lesley // Proceedings symposium on operating public transport. University of Newcastle upon Tyne. – 1975. – P. 87–93.
123. Aziz G. Bus travel – time model / G. Aziz // M.A.Sc. thesis. University of Toronto, Canada. – 1977. – P. 54–59.

124. Anderson P. A mathematical model of an urban bus route / P. Anderson, G. Scalia-Tomba // *Transportation research*. – 1981. – 15B. – P. 249–266.
125. Артынов А.П. Имитация процессов функционирования городского пассажирского транспорта на маршрутной сети / А.П. Артынов, А.И. Васильченко // *Моделирование процессов управления транспортными системами*. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 83–84.
126. Хизриев А.С. Математическая модель заполняемости маршрутных автобусов / А.С. Хизриев, В.М. Еремин // *Программное обеспечение автомобильных перевозок и безопасности дорожного движения*. – М.: МАДИ, 1989. – С. 48–51.
127. Воронков С.А. Метод определения эксплуатационных нормативов движения маршрутных автобусов в крупных городах: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. / Воронков С.А. – М.: НИИАТ, 1990. – 20 с.
128. Сидоров Е.А. Экономическая и социальная эффективность использования автобусов большой вместимости при организации транспортного обслуживания населения в городах: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. / Сидоров Е.А. – М., 1989. – 17 с.
129. Кравченко Е.А. Исследование скоростей движения автобусов на городских и пригородных маршрутах: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.11. / Е.А. Кравченко. – М., 1974. – 211 с.
130. Дубова С.В. Метод расчета маршрутной сети городского пассажирского транспорта с учетом автоматизированного управления: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.22.10 / С.В. Дубова. – К., 1989. – 23 с.
131. Маджарски Е.М. Влияние на натовернането на автобусите и разстоянието между спирките върху съобщителната скорост при градския автобусен транспорт / Е.М. Маджарски, И.К. Пенков, В.У. Цонев // *Известия*. – 1983. – 38, №4. – P. 33–37.
132. Машина Н.И. Моделирование пассажиропотоков города с использованием объемных стохастических сетей: дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 08.00.13 / Нонна Ивановна Машина. – Донецк, Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова, 1989. – 127 с.
133. Черных В.Г. Аналитическое моделирование процесса обслуживания пассажиров на отдельном маршруте городского пассажирского транспорта / В.Г. Черных // *Экономико-математические методы планирования и управления в системе городского хозяйства*. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 108–120.



134. Кравченко Е.А. Резервы повышения скоростей движения автобусов на городских и пригородных маршрутах / Е.А. Кравченко // Пути увеличения скоростей движения городского пассажирского транспорта и сокращение затрат времени на передвижение. – М., 1972. – С. 10–13.
135. Boyd Colin W. Notes on the theoretical dynamics of intermittent public transportation systems / W. Boyd Colin // Transportation research. – 1983. – A-17, №5. – P. 347–354.
136. Cundil M. Buss boarding and alighting times / M. Cundil, P. Watts // Transport and road research laboratory report. – 1973, lr 521.
137. Hendrickson C.T. Travel time and volume relationships in scheduled, fixed-route public transportation / C.T. Hendrickson // Transportation research. – 1981. – 15A. – P. 173–182.
138. Калугина Н.Н. Пассажирообмен на городских автобусах / Н.Н. Калугина // Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Сер.3. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1982. – Вып.8. – С. 7–15.
139. Калугина Н.Н. Исследование пассажирообмена на городских автобусах / Н.Н. Калугина, А.А. Михайлов // Совершенствование перевозок пассажиров автомобильным транспортом. – М.: НИИАТ, 1981. – С. 100–107.
140. Эткин Д.М. О влиянии некоторых конструктивных параметров городских автобусов на время их простоя на остановках / Д.М. Эткин, А.С. Резников // Сборник трудов НАМИ. – 1978. – Вып.166. – С. 28–32.
141. Осепчугов В.В. Методика выбора конструктивных схем автобусов / В.В. Осепчугов, А.В. Чанков // Автомобильная промышленность. – 1973. – №11. – С. 15–21.
142. Васильченко А.И. Моделирование посадки и высадки пассажиров на городском транспорте / А.И. Васильченко // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 132–142.
143. Брайловский Н.О. Управление движением транспортных средств / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.
144. Беляев В.М. Терминальные системы перевозки грузов автомобильным транспортом / Беляев В.М. – М.: Транспорт, 1987. – 287 с.
145. Системологія на транспорті: Підручник: У 5кн./ заг. ред. М.Ф. Дмитриченко. – К. : Знання України, 2005 – Кн.1: Основи теорії систем і управління / [Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К. та ін.] – 344 с.
146. Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте / Галушко В.Г. – Киев: Вища школа, 1976. – 232 с.

147. Теория подобия и размерностей. Моделирование / [Алабужев П.М., Геронимус В.В., Минкевич Л.М., Шеховцов Б.А.]. – М.: Высшая школа, 1968. – 205 с
148. Давідіч Ю.О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / Давідіч Ю.О. – Харків: ХНАДУ, 2006. – 292 с.
149. Бортницкий П.И. Тягово-скоростные качества автомобилей / П.И. Бортницкий, В.И. Задорожный. – Киев: Вища школа, 1978. – 176 с.
150. Фолькевич Б.С. Теория автомобиля / Фолькевич Б.С. – М.: Высшая школа, 1963. – 239 с.
151. Гримкевич А.И. Автомобили: Теория / Гримкевич А.И. – Минск: Вища школа, 1986. – 208 с.
152. Говорущенко Н.Я. Основы теории эксплуатации автомобилей / Говорущенко Н.Я. – Киев: Вища школа, 1977. – 232 с.
153. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки / Воркут А.И. – К.: Вища школа, 1986. – 447 с.
154. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / Бабков В.Ф. – М.: Транспорт, 1982. – 288 с.
155. Безрук М.Н. Влияние технического состояния автомобилей на безопасность движения / М.Н. Безрук, П.У. Жариков, А.А. Васильчук // Автомобильный транспорт. – К.: Техника, 1990. – №27. – С. 18–20.
156. Давідіч Ю.О. Теоретичні основи ергономічного забезпечення автотранспортних технологічних процесів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.22.01 “Транспортні системи”, 05.01.04 “Ергономіка” / Ю.О. Давідіч. – Харків, 2007. – 39 с.
157. Крохин М.Н. Оптимальная длительность работы и отдыха локомотивной бригады. Какой ей быть? [Электронный ресурс] / М.Н. Крохин, А.Б. Кирпичников – Режим доступа к ст.: <http://www.edv.ru>.
158. Френкель А.А. Многофакторные корреляционные модели производительности труда / Френкель А.А. – М.: Экономика, 1966. – 96 с..
159. Кавалев А.Г. Психология: Учебное пособие / Кавалева А.Г. – М.: Просвещение, 1966. – 452 с.
160. Атлас для экспериментального исследования отклонения в психологической деятельности человека. – К.: Здоровье, 1980. – 91 с.
161. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений / Митропольский А.К. – М.: Наука, 1971. – 576 с.

162. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский. – М.: Наука, 1970. – 432 с.
163. Дрейнер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейнер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.
164. Завадский Ю.В. Планирование эксперимента в задачах автомобильного транспорта / Завадский Ю.В. – М.: МАДИ, 1978. – 156 с.
165. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Хартман К. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
166. Афифи А. Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
167. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / Вознесенский В.А. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 264 с.
168. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
169. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта и дорожно-строительных машин с помощью регрессионного анализа / Завадский Ю.В. – М.: МАДИ, 1981. – 11 с.
170. Зайченко Ю.П. Исследование операций / Ю.П. Зайченко, С.А. Шумилова. – К.: Вища школа, 1984. – 267 с.

*Наукове видання*

**ДАВІДІЧ** Юрій Олександрович  
**КАЛЮЖНИЙ** Максим Володимирович  
**КУШ** Євген Іванович

**ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ПЕРЕГОНУ  
МАРШРУТНОГО МІСЬКОГО  
ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**

**МОНОГРАФІЯ**

Відповідальний за випуск *В. К. Доля*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

Дизайн обкладинки *Г. А. Коровкіна*

Підп. до друку 03. 02. 2014

Друк на ризографі

Зам. №

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 9,6

Тираж 500 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.